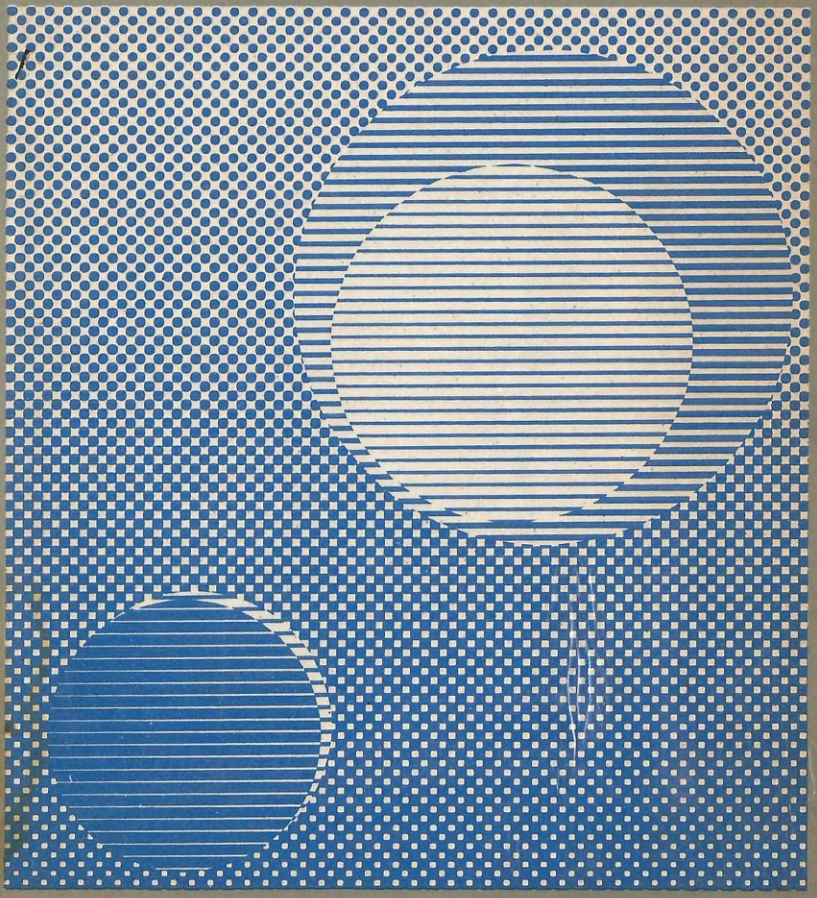
CLAUDE MARNASSE

LA PACIENTE HISTORIA DEL ATOMO



SEP SETENTAS

La paciente historia del átomo

Claude Marmasse

La paciente historia del átomo

SEP-SETENTAS 214

Secretaría de Educación Pública

Secretario
Víctor Bravo Ahuja

Subsecretaría de Cultura Popular
y Educación Extraescolar
Gonzalo Aguirre Beltrán

Dirección General de Divulgación
María del Carmen Millán

Subdirección de Divulgación
Roberto Suárez Argüello

Primera edición: 1975
© Secretaría de Educación Pública
Dirección General de Divulgación
SEP/SETENTAS: Sur 124, núm. 3006; México 13, D. F.
Impreso y hecho en México / *Printed in Mexico*

Para mis niños, Patrick, Natalia, Isabelle y Lucienne, y en memoria de todos nuestros colegas, afamados o desconocidos, que por años y años han luchado para construir esta realidad, todavía no terminada

Advertencia

Este libro es fundamentalmente una adaptación de una serie de artículos que el autor escribió de 1959 a 1962, bajo el título "La patiente histoire humaine de l'atome", para la revista *Snecma*. Se le agradece a la dirección de esta revista el permitir emplear el material publicado, en especial a la señora Santucci-Desmard, jefe de redacción, con quien ha sido un placer inolvidable colaborar. Que encuentre aquí el testimonio de una amistad respetuosa y de una admiración sincera por el valioso trabajo que desempeñó.

La publicación de este libro debe mucho a bastantes personas; en primer lugar a mi viejo amigo el ingeniero Thomas Brody, con quien se discutió por primera vez la posibilidad de reunir mis artículos anteriores en un libro que podría ser de interés para el público mexicano. Todos mis agradecimientos van a la Secretaría de Educación Pública, que se encargó de editar esta obra, y especialmente al licenciado Roberto Suárez, subdirector de Divulgación de dicha secretaría, quien supervisó la transformación del manuscrito en un volumen al nivel de la bien conocida colección Sep/Setentas, y a Miguel Angel Guzmán, quien ayudó eficientemente en la realización de este libro.

Claude Marmasse

Introducción

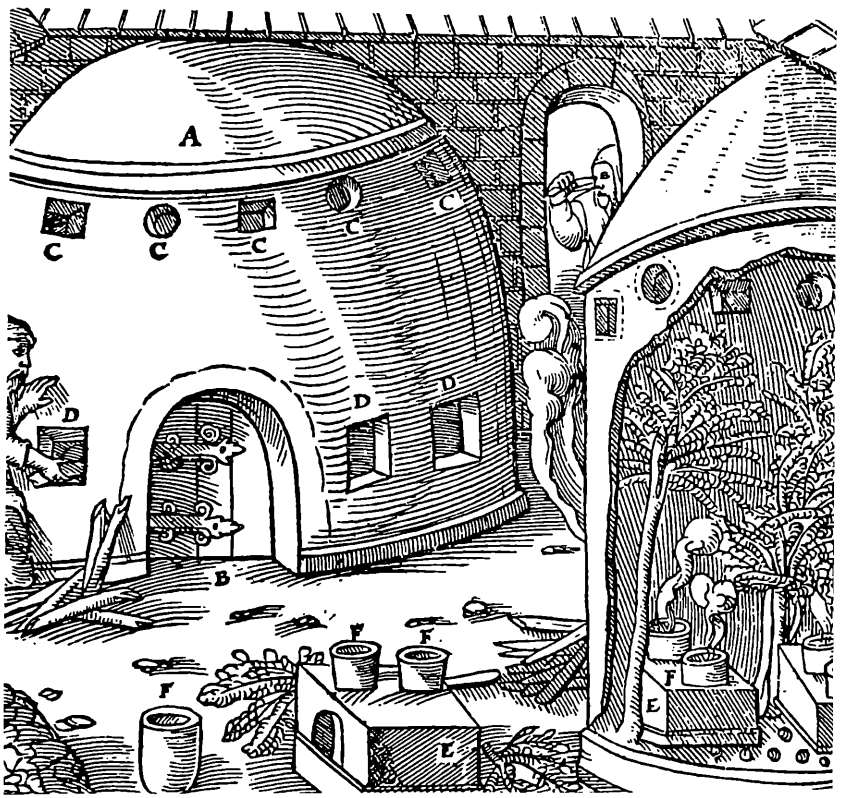
Se puede estudiar la historia de la ciencia desde varios puntos de vista, cada uno con su propio enfoque. Lo que se ha intentado aquí es señalar y analizar el desarrollo de la teoría atómica, no de una manera abstracta, sino al contrario, buscando los elementos humanos, porque fundamentalmente se trata de una historia muy humana.

Es la historia de una preocupación constante, de una búsqueda constante de la *última* realidad, que todavía no hemos conseguido alcanzar. ¿En dónde se encontrará ésta? : ¿en las partículas V? , ¿en los quarks? . . . No se sabe, es preciso esperar e investigar más.

En esta investigación, que se extiende a lo largo de siglos y siglos, participan y colaboran millones de personas. No es solamente la historia del éxito de unos cuantos genios, de unos pocos grandes hombres. Ha contribuido también toda una muchedumbre perdida hoy en mayor o menor grado en el anonimato del olvido, pero cuyo papel, sin embargo, ha sido esencial. En este camino no hay saltos gigantescos sino más bien una progresión caótica.

Es una aventura que involucra a seres humanos, a hombres y mujeres que sufren, aman, mueren; que tienen virtudes y defectos. Es una aventura que se lleva a cabo durante períodos de paz y de guerra, de hambre y de todas las calamidades que destroncan a las civilizaciones. Nada puede extinguir la preocupación ansiosa de saber lo que es la materia.

Claro que en primer lugar habrá que reconocer la unidad, la unicidad de esta materia; esto se conseguirá a través de las vicisitudes de lo que se llama corrientemente la teoría de los elementos. Pero, de hecho, es al desarrollo de toda una serie de teorías a lo que uno va a asistir; desde las más antiguas, que



Las investigaciones que aportaron a la concepción de la teoría atómica se extienden hasta los orígenes de la ciencia occidental. La presente ilustración, del libro *De re metallica libri XII* (1556), de Georg Agrícola, representa un proceso de destilación y condensación del mercurio.

consideran un elemento a lo que actualmente calificamos de propiedad física o química, a las más recientes, que van a llegar a la definición de un elemento como una entidad química fundamental. Hace falta notar que hay en todo esto un aspecto semántico que sería muy interesante explorar.

Se ha intentado en este volumen discernir y revelar las grandes líneas de una conquista de la mente humana –ahora la vivimos– que iba a transformar radicalmente la sociedad y a participar en la creación de "la segunda cultura", según la expresión de Snow.[1]

Esta aventura intelectual de nuestros antepasados es parte de nuestra herencia, y hoy más que nunca es nuestra carne y nuestros huesos.

Se limita esta obra a cubrir el período que va de la Antigüedad a unos años antes de la segunda guerra mundial, porque en este momento hay un cambio decisivo de estilo, debido en particular a la industrialización de la investigación científica. Su análisis requeriría un libro aparte.

Al intentar seguir y tratar de entender una historia como la que aquí se describirá hay muchos peligros, y el autor es muy consciente de ellos. En primer lugar no disponemos de toda la documentación deseable, y eso puede conducir a simplificar excesivamente ciertas cosas. Además existe siempre la posibilidad de no atribuir un peso correcto a ciertos acontecimientos. En otras palabras, no se puede escribir un libro de historia sin, en cierta manera, involucrarse personalmente. Siempre hay selección, interpretación. . . Pero no hay que tener miedo. Se trata de una historia humana, y es como hombres que hay que compartirla.

1 Esta expresión fue empleada por primera vez en la famosa Rede Lecture impartida por Snow en 1959. Para un estudio más reciente véase este autor, *The Two Cultures and a second look*, Cambridge University Press, 1969.

Los precursores. El mundo, tal como lo concebía Hecateo de Mileto, en el siglo VI a.C., era un disco plano dividido en tres partes: Europa, Asia y Libia, emergiendo del océano primigenio. Era la época, y la misma ciudad jonia, de Tales, precursor de la ciencia occidental. Ilustración tomada de Jackes Pirenne, *Historia universal*; en adelante citado como (HU).

Los precursores

Uno de los primeros filósofos que se atrevió a abordar el tema fue Tales, conocido también como Tales de Mileto. Era tan estimado por sus contemporáneos que lo colocaron entre los Siete Sabios –más o menos míticos– de la Antigüedad. Tales ha sido comparado con Benjamín Franklin porque, al igual que el inventor norteamericano, no sólo se destacó en el campo de la investigación sino que también desempeñó un papel político sumamente importante. Así, gracias a sus esfuerzos, se logró la unión de las ciudades jonias contra Persia. Tales nació hacia 624 a. de C. y falleció en 548 o 545. Era un hombre dotado de juicio brillante e inteligencia sumamente vivaz; hizo prolongados viajes por Egipto, y tal vez allí se aficionó por la geometría, rama del saber a la que debe la inmortalidad. Parece también probable que en Egipto, donde la vida estaba regida por el ritmo de las avenidas del Nilo, que siguen un ciclo casi matemático, fue que Tales concibió la idea de que lo que constituye la materia universal es el agua. Esto se demuestra con sencillez: es absolutamente necesaria para la vida. Sin agua no hay nada, y en donde se encuentra el agua se desarrolla la vida. ¿No es ésta la mejor prueba?

Anaximandro, compañero de Tales, que vivía también en Mileto, se preocupó al fin de su vida por este problema. No le parecía del todo convincente la teoría de Tales porque no servía para explicar la transformación del agua en hierro, por ejemplo, o en madera. Por lo tanto concibió la idea de que había una sustancia primera, primordial, a la que llamó *ápeiron,* misma que tenía la propiedad singular de ser intangible e impalpable.

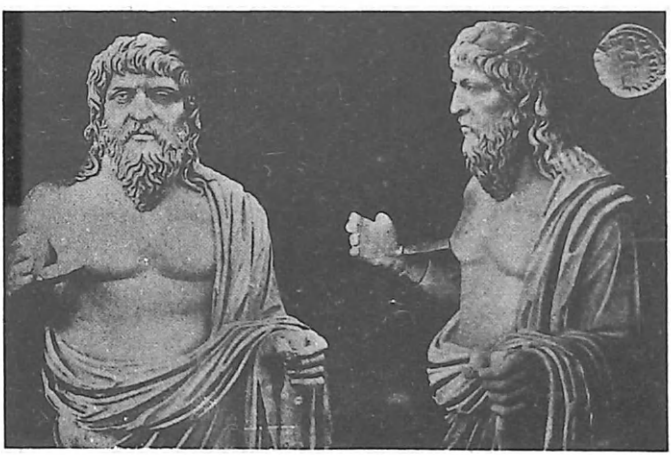
Otro ciudadano de Mileto pero que pertenecía a la siguiente generación, Anaxímenes, propuso el aire como sustancia

primera. Esta nueva teoría tenía la gran ventaja de reconciliar las teorías de Tales y Anaximandro: en efecto, el aire es una sustancia tangible pero aparece como algo impalpable y capaz de asumir formas diversas al rarificarse o condensarse, según el caso. Desarrollando y ampliando su teoría, Anaxímenes llegó a concebir el mundo como un hombre gigante, y así asimilaba el viento a la respiración del hombre. La idea de una similitud entre el macrocosmos y el microcosmos fue muy bien aceptada y causó gran impresión en los contemporáneos del filósofo. A veces orgullosamente explicitada, a veces en sordina, fue definitivamente un motor y una ayuda en la gran búsqueda de la realidad de la materia.

El héroe siguiente de esta fabulosa historia es Pitágoras, cuya vida es desgraciadamente casi desconocida pero de quien ha sido posible reconstruir gran parte de las obras. Se sabe solamente con seguridad que nació en Samos y que estaba en la plenitud de sus facultades durante el reinado del tirano Polícrates, quien murió en 522 a. de C. Según Aristóxenes de Tarento, huyó de Samos para escapar de la tiranía, pero ¿no sería más bien —como tantos otros en aquellos tiempos— por temor a los persas? Según Jámblico, se dirigió en primer lugar a Mileto, donde Tales, tras reconocer su genio, lo hizo su discípulo; después Pitágoras pasó a Egipto, y, al ser conquistado este país por Cambises (525 a. de C.), siguió al vencedor a Babilonia. Sin embargo parece que Jámblico, según su costumbre, se dejó arrastrar por una imaginación muy fértil. Sea lo que sea, regresará Pitágoras de su viaje y se establecerá en Crotona, donde pronto se le unieron estudiantes y amigos. La pequeña comunidad se dedicó a dar a conocer las concepciones pitagóricas, en especial las relativas a los números. En efecto, Pitágoras había descubierto varias propiedades de los números, e impelido por su misticismo natural hacía de la aritmética la base de un sistema filosófico en el cual todo era número, todo era armonía. Claro que la obra de Pitágoras es mucho más amplia de lo que puede referirse en estas páginas, pero es solamente gracias a su concepción de un mundo dividido que alcanza un sitio en la historia del atomismo.

Para Pitágoras los números son las cosas. De aquí que los cuerpos están constituidos por unidades indivisibles; hay un solo elemento, compuesto de tierra, de aire, de fuego y de agua. Son un tanto vagas estas ideas pero la noción de la armonía matemática del mundo, por pueril que pueda parecer en la forma imaginada por la escuela pitagórica, será una de las ideas dominantes en las épocas siguientes. Desde el punto de vista de la física, esta filosofía es más una filosofía de la forma que de la materia, y en eso se opone fuertemente a la filosofía jónica.

Gira nuevamente la rueda... Heráclito de Efeso, filósofo afamado, condena el materialismo de Anaximandro y de Anaxímenes, y su libro *Sobre todo,* que fue depositado con gran solemnidad en el templo de Artemisa, introduce un



Heráclito de Efeso sostuvo que el fuego era la sustancia primaria, y construye el principio filosófico –al que se considera como antecedente de la dialéctica– de *la teoría de los contrarios.* Ilustración tomada de Mary Elvira Weeks, *Discovery of the Elements,* Easton, 1956, Journal of Chemical Education; en adelante citado como (DE).

Busto de Zenón de Elea, realizado en bronce. (HU.)

elemento nuevo: el fuego etérico, que aproximadamente el autor asimila al alma. Todo está hecho de este fuego y a él todo regresa. Enseña Heráclito que la alternancia perpetua de los opuestos entretiene el ritmo perpetuo del fuego siempre viviente, llegando así a su famosa fórmula: *panta rei* (todo fluye). Indica también un método de investigación: la verdad puede ser conocida solamente por medio de una reflexión profunda sobre el *logos* (palabra) universal o razón.

Al contrario de Heráclito, el último de los filósofos, Anaxágoras de Clazomene será más un científico que un metafísico; se debe señalar que es el primer erudito que irá a radicar a Atenas, ciudad que principiaba a encabezar a todas las ciudades griegas. Para Anaxágoras el universo fue en primer lugar un caos de innumerables semillas (*spermata*), al cual el espíritu dio orden y forma gracias a un movimiento de rotación. Es por medio de un vórtice que se consumó la organización de la materia.

Se desplaza ahora la escena científica hasta Elea, pequeña ciudad costera del sur de Italia, donde buscan refugio los habitantes de Fócida, la más septentrional de las regiones jónicas, al ser invadida por los persas. Uno de los niños salvados del yugo de los *bárbaros*, Parménides, va a llevar al extremo, más preocupado por el rigor que por el realismo, la concepción griega según la cual lo que no se puede concebir es imposible, no puede existir: es imposible la Creación porque no se puede concebir algo que salga de la nada, producido por la nada; e igualmente es imposible la destrucción porque no se puede concebir el desvanecimiento de algo en nada; y es imposible el cambio mismo porque no se puede concebir cómo podría provenir algo de una cosa con una naturaleza desemejante. Y concluye Parménides: debe encontrarse una esencia común en las cosas.

Cuando abandona Elea para dirigirse a Atenas, en donde según Platón encontrara al joven Sócrates, es constituida la filosofía eleática. Zenón, joven discípulo de Parménides, intentará desacreditar una vez más la noción pitagórica de los cuerpos netamente separados, de la multiplicidad, gracias a sus muy conocidas paradojas, como la de la tortuga: corre

Aquiles tras una tortuga, pero le será imposible alcanzarla porque, a medida que se acerca, le quedará todavía por recorrer la mitad del intervalo que lo separa del animal; y después tendrá que recorrer nuevamente la mitad del nuevo intervalo, y de este modo hasta el infinito, de modo que nunca podrá alcanzarla.

No se debe menospreciar la importancia de la escuela eleática. Al desprestigiar la confianza que se puede tener en los sentidos, impulsará a la escuela atomística a buscar la realidad de las cosas en entes imperceptibles. En otras palabras, desde el punto de vista que aquí nos interesa, no radica tanto la importancia de la escuela eleática en el valor intrínseco de sus concepciones como en el de su posición en la evolución histórica que va a facilitar. Pero, antes que ésta se realice, la teoría de los elementos va, perfeccionándose, a revestir un aspecto nuevo y a adquirir una potencia de atracción tan grande que va a manifestarse de nuevo –claro, con algunas modificaciones– durante la Edad Media.

Es un hombre extraordinario quien va a dar cuerpo a esta teoría. Filósofo, poeta, físico, médico, reformador social, Empédocles de Agrigento es todo eso, pero ¿qué no es este hombre capaz de escribir canciones purificatorias, tres libros en versos sobre la naturaleza y un poema sobre aspectos médicos? Consideraba cuatro elementos –o raíces–: el agua, el aire, la tierra y el fuego; y dos fuerzas divinas, una atractiva y otra repulsiva, que aparecen a los hombres como amor y odio. Consideremos, por ejemplo, un pedazo de madera verde que se está quemando: se manifiesta el fuego por la luz, el humo que se libra es aire, gotas de agua se pueden observar en las extremidades del trozo de madera y quedan, después de la combustión, cenizas, que pertenecen al elemento tierra. Aseguraba además Empédocles que es imperecedera la materia, y sus especulaciones lo condujeron a afirmar que la luz tiene una velocidad finita (habrá que esperar hasta el siglo XIX para conseguir la demostración experimental de esta aserción, pero vendrá). Si se añade que sus opiniones médicas fueron en muchas ocasiones bastante profundas y que se anticipan con frecuencia a las de su

tiempo (por ejemplo, para combatir las enfermedades, mandó drenar por cuenta propia unos pantanos cercanos a Agrigento), que viajaba como misionero, de ciudad en ciudad, curando enfermos e intentando orientar a sus compatriotas hacia un mejor estado espiritual, se tendrá una idea de su vitalidad. Tanta fue la admiración que suscitó que se le atribuyó una muerte fabulosa: fue engullido por el Etna, y –como prueba– el volcán arrojó su calzado por el cráter. Otra leyenda plantea su fallecimiento durante un banquete organizado en su honor por sus amigos, en especial por el físico Pausanias. Su muerte, según esta leyenda, ocurrió en el Peloponeso, donde el maestro se había refugiado. Al anocher se había escuchado una voz llamando a Empédocles, se iluminaron los cielos y el filósofo desapareció. Sin embargo, porque, dijeron unos, era demasiado grande, no dejó ninguna escuela; ninguno de sus discípulos, ni siquiera el fiel Pausanias, se atrevió a continuar su obra.

Fue iniciada por Leucipo la famosa escuela atomista. Como de costumbre, no se sabe mucho de la vida de su fundador, ni siquiera con certidumbre en dónde nació. De cualquier manera, había ido a residir a Abdera, pequeña ciudad que en ese tiempo (segunda mitad del siglo V a. de C.) era escenario de una intensa actividad científica. Se reveló como un racionalista altamente convencido: "nada sucede por casualidad", escribía, "sino al contrario, todo tiene una causa necesariamente". Pero no parece que los problemas que trató fueron de un nivel más elevado que los estudiados por sus contemporáneos. Esto no sucedería con su alumno Demócrito, y una vez más el discípulo superará al maestro.

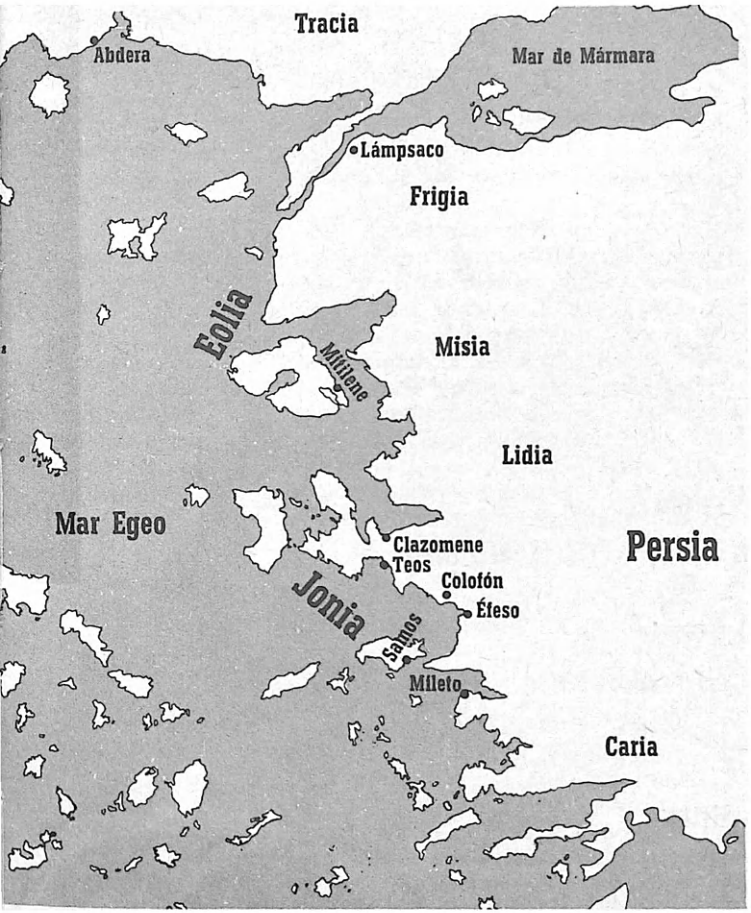
Muchas incógnitas se ciernen también sobre la vida de Demócrito. ¿Nació en Abdera o en Mileto? ¿Fue su padre Hegesistrato, Atenócrites o Demasipe? No importa mucho a fin de cuentas. Nacido alrededor de 460 y muerto hacia 360 a. de C., viajó por Grecia y permaneció cinco años en Egipto; en este lugar aprendió geometría con los sacerdotes. Visitó Persia y después Caldea, donde estudió bajo la dirección de los magos, y posteriormente llegó al mar Rojo. Tal

vez viajó a la India y a Etiopía. Gozaba de fama muy amplia en la Antigüedad y se aseguraba que, siendo todavía niño, ya tenía amplios conocimientos de teología y astronomía. Era fundamentalmente un solitario. De regreso a Abdera, en donde, hasta su muerte, proseguiría sus investigaciones y prolongaría su obra, se incomunicará; el erudito tuvo pocos contactos con la cultura ática de su tiempo, a excepción de unas entrevistas con el médico Hipócrates, que radicó en Larisa hacia el fin de su vida. De cualquier modo, no sufrió de ninguna manera la influencia de Sócrates. Es muy posible que sea este aislamiento relativo lo que le permitió formular una teoría original y muy coherente.

Por desgracia las obras de Demócrito no han llegado hasta nosotros; se perdieron entre los siglos II y I a. de C. Fueron muy apreciadas en la Antigüedad, no solamente por su contenido, sino también por su forma. La claridad de la exposición y el vigoroso estilo del autor resultaban especialmente estimados. Demócrito es un materialista bien definido y expone con vigor un concepto unitario del universo: "Convencionalmente existe un dulce y un amargo, un caliente y un frío, y convencionalmente existe el calor. En realidad sólo existen átomos y un vacío." Así se opone a Protágoras, el sofista, para quien "El hombre es la medida de todas las cosas". Los atomistas aceptan esencialmente la idea de un ser dividido en pequeñas partículas independientes, que existen de toda la eternidad, insecables (de allí el nombre de átomos: *átomos* = insecable, que no se puede cortar). Explicaban las diferencias entre las propiedades de los cuerpos materiales por diferencias de tamaño, forma, posición y movimiento. Demócrito da ejemplos precisos de lo que entendía por movimiento de los átomos; así explica que en la piedra o en el hierro los átomos pueden vibrar u oscilar, mientras que en el aire o en el fuego pueden saltar grandes distancias. Estos movimientos de los átomos dilucidan el problema de la creación de los mundos: en sus desplazamientos a través del espacio infinito, en todas direcciones, los átomos entrechocan, lo que genera movimientos laterales y vórtices. Estos vórtices provocan grandes concentraciones

"Convencionalmente existe un dulce y un amargo, un caliente y un frío, y convencionalmente existe el calor. En realidad sólo existen átomos y un vacío", afirmaba Demócrito, uno de los fundadores de la escuela atomista. (HU.)

Urbes griegas en donde se originó la actividad científica de Occidente. En el mapa se localizan las ciudades de Mileto, Samos, Efeso, Colofón, Clazomene y Teos, primeros centros científicos del mundo



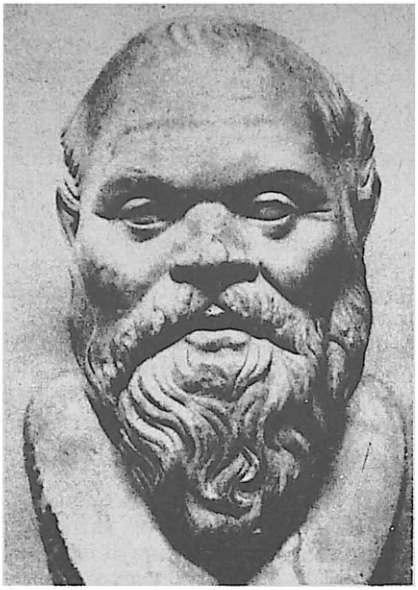
helénico, así como Mitilene, Lámpsaco, Abdera, Estagira, Larisa, Delfos, Atenas y Pireo. La división política del presente mapa corresponde al siglo VI a. de C., época en que floreció la escuela jónica.

Ciudades de la Magna Grecia, región meridional de la península Itálica bajo el dominio heleno, en las que se desarrolló el pensamiento científico: Elea, patria de Parménides y Zenón; Crotona, residencia de Pitágoras; y Agrigento, patria de Empédocles.

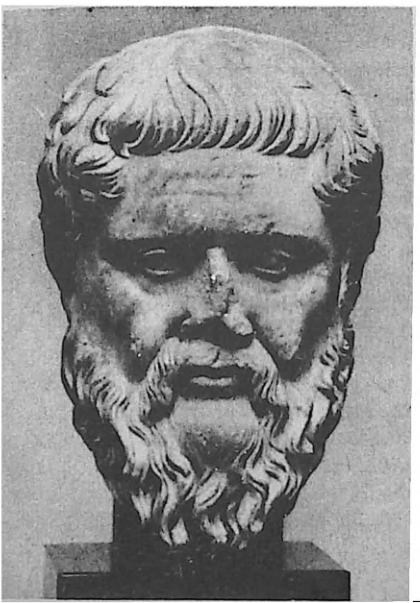
de átomos, y esto conduce a la formación de elementos. Los mismos elementos generaron mundos que son esencialmente mortales porque, de la misma manera que fueron construidos por átomos, se pulverizarán un día también en átomos... Cómo no llenarse de admiración frente a la amplitud de una concepción del universo que, con las correcciones y adiciones necesarias, no está tan lejos de los esquemas cosmológicos del presente.

Después de la escuela atomista se advierte una notable regresión del pensamiento científico. Se ha transformado Atenas en la más importante de las ciudades áticas, y toda la energía de los atenienses está dirigida hacia el mundo exterior; la política triunfa sobre el pensamiento. Ahora los filósofos sólo atribuyen importancia a las sensaciones. Para Sócrates, el alma es la única realidad que merece ser estudiada; Platón rechaza el determinismo mecánico y adopta un misticismo teñido de escepticismo. Aumenta la influencia de Pitágoras; se vuelven antropomórficas la física y la biología. Se concibe ahora al universo o cosmos como un ser vivo dotado de cuerpo, alma y discernimiento, y muy pronto en la filosofía de Platón sólo los arquetipos constituirán la realidad.

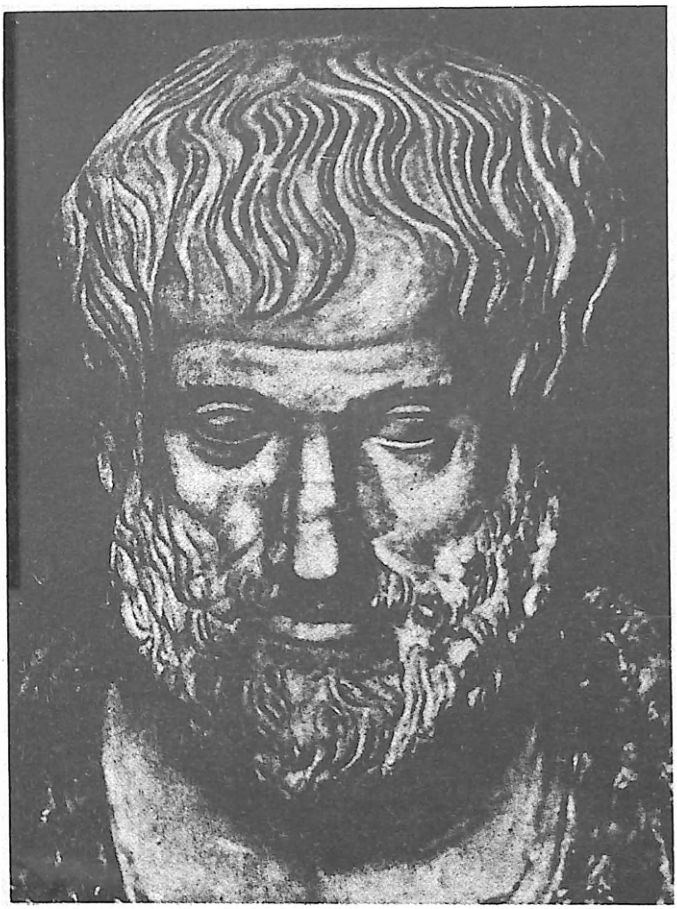
Con la llegada de Aristóteles el atomismo desanda lo andado. Había nacido en Estagira, Calcedonia, en 384 a. de C.; su padre era médico de Filipo, rey de Macedonia, y Aristóteles se convertirá en preceptor de Alejandro Magno, el hijo de Filipo. La obra del estagirita fue muy extensa, y toda la Edad Media manifestará hacia ella un respeto semejante al que mostró con la Biblia. Es en su muy afamado libro *Discurso físico* que explica cómo, para que un cuerpo se mueva, es menester que una fuerza actúe continuamente sobre él mismo. En su trabajo *De los cielos* abunda en la teoría de los cuatro elementos. Es perecedera la materia; existen dos tendencias mayores: la generación y la destrucción. Así, los principios opuestos dos a dos del calor y del frío producen, mediante su acción mutua, los cuatro elementos, es decir, el fuego, el aire, la tierra y el agua. Estos elementos son de origen terrestre, y añade Aristóteles un



Para Sócrates, el alma constituye lo único que debe ser estudiado. (HU.)



Platón rechaza el materialismo, y da origen a la corriente filosófica del idealismo. (HU.)



"Con la llegada de Aristóteles el atomismo desanda lo andado." Aristóteles sistematiza la concepción de los cuatro elementos, pero le añade un quinto: el éter. (HU.)

quinto elemento, esta vez de origen divino: el éter, que hace perfectos e incorruptibles a los cuerpos celestes.

Demócrito pudo haber sido un genio. No fue comprendido por sus contemporáneos, tampoco por la mayoría de los filósofos de la generación siguiente. Platón ni siquiera mencionó su nombre. Pero, al fin, vino Epicuro.

Epicuro, llamado de Samos para distinguirlo del Epicuro hijo de Metrodoro, fue hijo de Neocles, un noble ateniense. No se sabe si nació en Atenas o en Samos, pero es seguro que en esta isla fue donde su padre radicó. Allí el joven Epicuro recibió una excelente educación, orientada especialmente hacia la filosofía, según parece. Después, al iniciarse su adolescencia, va a Atenas. Precisamente en este tiempo, 323 a. de C., Pérdicas, el tirano de Samos, tutor de los hijos de Alejandro, expulsa de la isla a los colonos atenienses. Entonces Epicuro viaja, en calidad de desterrado, a lo largo de la costa pérsica; pero prefiere las ciudades jonias de Colofón y Teos, y cada vez que puede se queda algún tiempo en ellas. ¿Casualidad? Es en Teos que Nausifane lo inicia en la filosofía de Demócrito.

Algunos años después, en 311, a la edad de 30 años, se instala en Mitilene y abre allí una escuela de filosofía, en la cual se inscriben sus tres hermanos. La escuela es trasladada a Lámpsaco, y allí se agregan sus primeros discípulos, en particular Metrodoro, Leonteus y la esposa de éste. Es tan notable el éxito de la escuela que todo el mundo va a radicar a Atenas, el polo de atracción universal, porque solamente ahí podía alcanzar notoriedad una escuela de filosofía. Atenas, madre de las bellas artes y de la literatura...

Regresará Epicuro un poco más tarde, en 307, a Samos. ¿Qué ha cambiado allí? ; probablemente muy poco, sólo que ahora es Demetrio Poliorcetes el tirano, en lugar de Pérdicas. Finalmente Epicuro compra a Melita una casa y un jardín situados cerca del Pireo, mismos que van a ser célebres en la historia intelectual de la cuenca del mar Mediterráneo porque es allí que por muchos, muchos años va a enseñarse una doctrina sin precedentes.

Alcanza fama inmediata el jardín. Las mujeres son admiti-

das en las pláticas –hecho increíble, revolucionario, en la Antigüedad–, y claro que eso provoca muchas habladurías. Inclusive las cortesanas acuden a escuchar al maestro; y una de ellas, de la cual la historia ha conservado el recuerdo, se casará con Metrodoro. ¿La María Magdalena de la filosofía. . .? Por otro lado, es necesario hacer notar que ha sido muy exagerado el número atribuido de *damiselas* asistentes a estas reuniones, en las que se trataban temas bastante abstractos; no debe extrañar que proliferaran algunos filósofos de pequeña envergadura, los que, celosos de un triunfo tan clamoroso, intentaron desacreditar al filósofo por medio de la vida privada de unos oyentes. Son los mismos que consideraron la casa de Epicuro como un lugar dedicado a múltiples depravaciones y a orgías inenarrables, que describieron como el infierno del estupro a "el jardín de Epicuro".

Allí, durante treinta y siete años aproximadamente, el filósofo trabajó en paz en la redacción de su obra, muy amplia y que comprende en particular el *Canon* (*Regla*) y un tratado sobre *La naturaleza* en 37 libros. Desgraciadamente muy pocos de estos libros han llegado hasta nosotros, y es el poema de Lucrecio el que constituye nuestra fuente principal de información sobre el pensamiento de Epicuro. Su principal teoría física es de tipo atomístico: los átomos, que tienen varias formas, se mueven en el vacío, en el cual entrechocan; el alma está formada de átomos, los dioses mismos son hechos de átomos. Sin embargo, algunas de sus ideas son un tanto vagas; admitía que el alma, mortal al igual que el cuerpo, incluye un elemento sin nombre. También consideraba que tres elementos, el fuego correspondiendo al calor, el viento correspondiendo a la respiración, y el aire, estaban sobreañadidos a los átomos y se encontraban en cualquier lugar. Además, un cuarto elemento, más sutil, era el alma del alma. Hay que reconocer que actualmente no es posible dar una interpretación a estas especulaciones.

Para él, sólo el placer debía constituir la base de la vida, pero por placer entendía una vida virtuosa, casi ascética, y ponía el ideal del sabio en la imperturbabilidad o *ataraxia*. Le condujo esta filosofía de la vida a luchar contra la

superstición, a la que odia, y contra el clericalismo. Creía en la existencia de una deidad pero detestaba la religión forjada por los aristócratas para consumo de las clases bajas. Si aceptaba la creación del mundo, rechazaba, por otro lado, toda idea de milagro, porque el mundo está sometido únicamente a leyes físicas. Sin embargo, aseguraba la existencia de cierta libertad humana por medio de una idea muy ingeniosa que durante más de dos milenios resurgirá de vez en cuando: no hay un determinismo absoluto, a causa de la espontaneidad intrínseca de los átomos, la que los impulsa a hacer pequeños revuelcos en su carrera.

La filosofía de Epicuro es la filosofía de un hombre para otros hombres. A pesar de unas inconsecuencias, que se pueden encontrar en su teoría atomística, ésta constituye un cuerpo coherente de doctrina, basado fundamentalmente en un materialismo sano. Por otro lado, es definitivamente Epicuro el primero que planteó el problema de las relaciones entre ciencia y sociedad. Hombre de notable equilibrio físico y mental, ejerció una influencia importantísima sobre muchos de sus contemporáneos; y no terminó este ascendiente con su muerte. La comunidad de hombres y mujeres que fundó, y en la cual todos vivían en armonía y buena inteligencia, no se dispersó cuando desapareció el maestro. Había tomado disposiciones legales para asegurar intelectual y materialmente el porvenir de la pequeña sociedad.

> "...doy y lego todos mis bienes a Aminomaques, hijo de Filócrates de Bates, y a Timócrates, hijo de Demetrio de Potama... a condición de que pongan el jardín y todo lo que éste contiene a la disposición de Hermakos, hijo de Agemortos de Mitilene, y a los miembros de su sociedad y a los que Hermakos dejará como sucesores para que allí vivan y estudien... Que ellos [otros beneficiarios del testamento] nombren a Hermakos coadministrador de los fondos, para que todo se haga de concierto con el que envejeció conmigo en la filosofía y a quien yo dejo como jefe de la escuela...

En 270 Hermakos sucede a Epicuro. Mucho más tarde, en el siglo I, funcionaría siempre la escuela de acuerdo con los

preceptos de su fundador, como lo atestigua, por ejemplo, Cicerón, que se aprovechó de la enseñanza impartida en el jardín. Muchos filósofos, políticos, escritores y otros se ufanaron de estudiar y de seguir la doctrina de Epicuro. Y en eso residió la grandeza que había buscado el maestro.

Pero es un poeta latino, Lucrecio, quien va a constituirse como el más ardiente propagador del atomismo. Tito Lucrecio Caro nació, probablemente en Roma, alrededor de 99-95 a. de C. Pertenecía su familia a la nobleza —su padre era senador o noble—, lo que explica que en su obra —a quien además le dedicó— Lucrecio se dirija con familiaridad al aristócrata Cayo Memmio. Desafortunadamente son muy vagos nuestros conocimientos acerca de su educación; sin embargo se puede suponer, con mucha verosimilitud, que tuvo maestros griegos del grupo epicúreo, en el cual se reclutaban, según la costumbre de la época, ayos y preceptores para los niños de las mejores familias. Al menos algo es seguro: leía mucho; a Epicuro, Empédocles, Demócrito, Anaxágoras. De cualquier modo, adopta el epicureísmo como filosofía. "Y yo también puerco de la piara de Epicuro", se declara un día.

El mismo desconocimiento que se tiene sobre la fecha de su nacimiento nubla lo que concierne a su personalidad. En la *Crónica* escrita por San Jerónimo cuatro siglos después del fallecimiento del poeta se le dedica solamente un pasaje muy breve:

> "Tito Lucrecio el poeta nació. Un filtro de amor lo enloqueció, pero escribió durante sus momentos de lucidez algunos libros que corrigió Cicerón. Se suicidó a la edad de 43 años."

Esta historia del filtro ha conmovido a muchos historiadores. ¿En qué datos se basa San Jerónimo? Tal vez en un libro perdido de Suetonio, se ha explicado, pero la aclaración es dudosa. Es seguro que se empleaba con frecuencia los filtros de amor, a tal punto que se había promulgado una ley para prohibir tales brebajes; pero las brujas de los suburbios de Roma siguieron prosperando. Según ciertos historiadores,

estos filtros podían matar, pero no enloquecer. Sin embargo, contestan otros críticos, el poema tiene un tono muy exaltado; ¿no es compatible con esto la acusación de enfermedad mental? "Es un cuento armado de varias piezas", exclaman otros con indignación; "los enemigos del epicureísmo quieren desacreditar a uno de sus máximos adeptos", etcétera, etcétera. De cualquier modo, no parece que Cicerón haya corregido algo al texto de Lucrecio, y solamente Jerónimo ha mencionado tal aserto. Por otra parte, seguramente, el poema *De la naturaleza de las cosas* fue muy bien recibido por el público. Cicerón lo publicó después de la muerte de su autor, el mismo día que Virgilio revestía la toga viril. Pero nunca disminuyeron los ataques ni se desarmaron los enemigos de Lucrecio. Su poema ha suscitado muchas pasiones. Si el –muy mediocre– poeta francés Sully-Prudhomme traduce en versos el primer libro de *De natura rerum* en 1878, en 1474 el cardenal de Polignac había publicado un *Anti-Lucrecio.*

La obra de Lucrecio, muy notable por su prolijidad (a pesar de estar incompleta pues el autor falleció antes de terminarla; comprende unos 7 415 versos), se presenta esencialmente como una defensa de la filosofía de Epicuro, al cual se refiere como su maestro, aunque declara también su admiración por Empédocles. Empieza el texto con una invocación a Venus, diosa de la Creación. Después el autor descubre su propósito: revelar la naturaleza de las cosas y explicar el universo en términos de leyes físicas; se atacará a la superstición y se defenderá a la ciencia. La materia es permanente, no es creada y no podría evanescerse en nada. Está constituida por partículas separadas unas de otras por el vacío; estas partículas, o átomos, son sólidas e indivisibles, pero a la vez muy pequeñas y no es posible verlas. Existen en número infinito. De pasada, Lucrecio refuta las teorías de Heráclito, de Empédocles y de Anaxágoras. Sorprendentemente, el libro contiene también la esencia del mendelismo.

Está dedicado el segundo libro al estudio del movimiento de los átomos. No son provocados sus movimientos por los dioses, y tienen más tendencia a subir que a bajar. Sus

movimientos son un tanto irregulares y arbitrarios, lo que explica la existencia de la libertad. Los átomos tienen muchas formas diversas, y por lo tanto pueden realizar un número bastante considerable de combinaciones. No poseen color ni temperatura, etcétera, y son iguales los que constituyen la materia viviente y la materia inanimada. En el universo infinito forman una pluralidad de mundos que nacen, crecen y mueren.

Principia el tercer libro con una emocionante invocación a su maestro Epicuro: "Tú, padre, eres quien de veras descubriste la verdad, tú quien nos proporcionaste avisos paternales, y es en tu libro ilustre que, como abejas que visitan los prados floridos, cazamos las palabras de oro, las mejores de la vida eterna." Todo el libro se dedica a demostrar la naturaleza del alma y a combatir el miedo a la muerte. El espíritu y el alma son partes integrantes del cuerpo, y, como él, están formados por átomos.

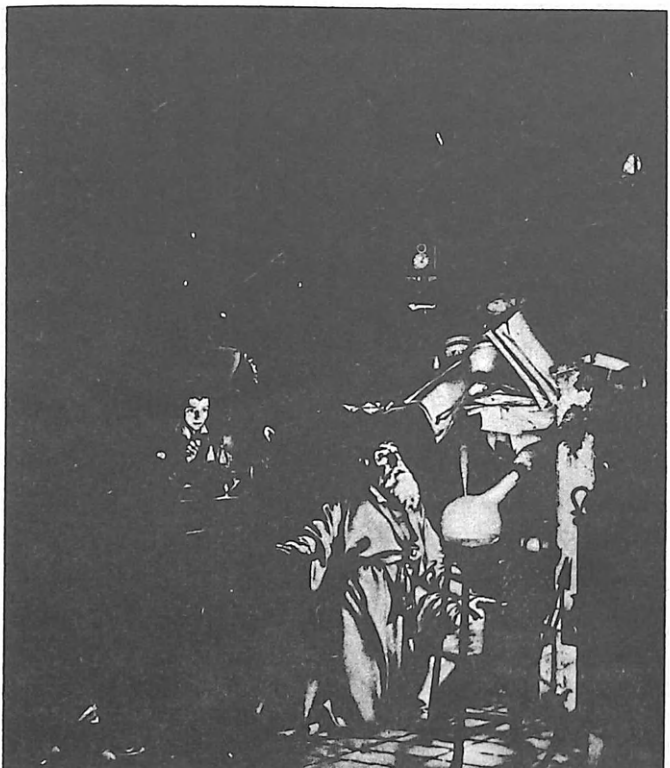
Se consagra el cuarto libro al análisis de varios puntos; se encuentra en particular una teoría de la visión, un ataque contra el espiritualismo de Aristóteles y una defensa del materialismo.

Finalmente, en el quinto libro hace Lucrecio un análisis de las relaciones entre los hombres y los dioses: éstos no han creado a los hombres y no les atienden; en todo son ajenos al mundo humano.

Frente a tal obra no se puede adoptar otra actitud que coincidir con Sarton[1] en que "la sola locura de Lucrecio era su genio". Su testamento Lucrecio mismo lo depositó, no sin una grandeza que provoca admiración respetuosa, en su obra:

> Si uno nota estas cosas, y si las recuerda, puede entonces ver la naturaleza al fin liberada de sus dueños altivos, haciendo todo espontáneamente, por sí misma, sin entrometerse los dioses.

1 George Sarton, *A History of Science. II Hellenistic Science and Culture in the Last Three Centuries B. C.*, Harvard University Press, Cambridge, Estados Unidos, 1954, 265 pp.



La gran época de la alquimia. El artista que pintó este cuadro, Joseph Wright of Derby (1734-1797), lo intituló *El alquimista en la búsqueda de la Piedra Filosofal descubre el fósforo y ora por el exitoso resultado de su operación, como era costumbre de los antiguos astrólogos químicos.* (DE.)

La gran época de la alquimia

A pesar de varias aserciones clásicas y de la opinión común y corriente, la alquimia no es una creación occidental. En la parte alta de la Edad Media se presenta definidamente como una ciencia árabe, descendiente a su vez de una disciplina egipto-griega. Es mucho más tarde, siglos después, que se revestirá con ropajes latinos.

El texto de alquimia más antiguo que conocemos con certeza es un escrito griego, el *Physica Kai mystica* (*De la física y de la mística*), de un cierto Demócrito que no se debe confundir con el Demócrito de Abdera antes mencionado. Demócrito el alquimista vivió probablemente en el siglo II a. de C. Desde entonces toda una línea de alquimistas prosiguen con paciencia sus trabajos en varios lugares. Es en la ciudad de Harran, en Siria, donde establecieron su máximo centro de influencia. No parece que fue elegido al azar este lugar. Más bien toda una serie de razones socioeconómicas favoreció el desarrollo de una escuela alquimista precisamente allí. Ya anteriormente esta ciudad había gozado de prestigio: durante el siglo VI a. de C. se extendió su reputación, y muchos maestros enseñaron en ella la filosofía griega. Es preciso hacer notar que éstos insistían en el aspecto materialista de las varias teorías que exponían. Por otra parte, iba creciendo la importancia económica de la ciudad, que se había convertido en un centro metalúrgico muy importante y se había especializado en el comercio de productos químicos. Todo este conjunto de circunstancias explica la gran importancia atribuida en Harran a las ciencias de la naturaleza; algo eminentemente favorable al crecimiento y desarrollo de la alquimia.

Puede parecer extraño que los conquistadores árabes no destruyeran los focos de civilización que cayeron bajo su

dominio, tales como Harran y Alejandría. Al contrario, se entusiasmaron por la cultura difundida por estos centros. Es así que Harun-al-Raschid, el muy famoso califa de los cuentos de *Las mil y una noches,* y otros poderosos de la época fundaron academias, establecieron observatorios astronómicos y mandaron traducir al árabe cientos de textos científicos griegos. Tal vez, entonces, no es casual que el máximo alquimista, Al Jabir, fuera de origen árabe.

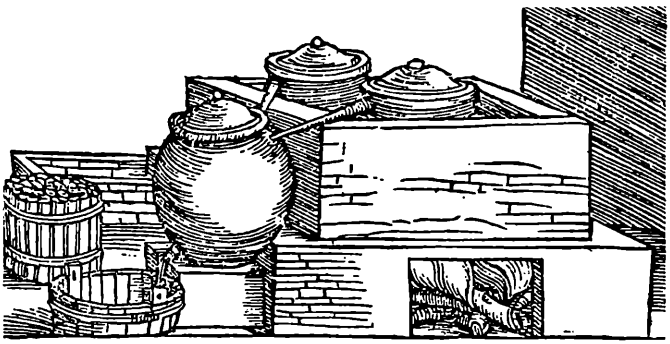
Jabir – ibn Hayyan al – Soufi[1] fue hijo de un droguista de Koufa y nació en 723 o 725. No se sabe cuándo falleció; lo único que se conoce con seguridad es que todavía vivía en 803. Según parece fue un autor bastante prolífico, pero hay que tomar en cuenta que ciertamente no escribió todas las obras que le fueron –o le son– atribuidas.

Jabir acepta inicialmente la existencia de cuatro naturalezas: el calor, la humedad, la frialdad y la sequedad. Dichas naturalezas se unen con la sustancia y de esta unión van a nacer los compuestos del primer grado, es decir lo caliente, lo húmedo, lo frío y lo seco. A su vez estos compuestos van a producir los elementos según el esquema:

caliente + seco + sustancia = fuego
caliente + húmedo + sustancia = aire
frío + húmedo + sustancia = agua
frío + seco + sustancia = tierra

Sin embargo complica todavía más su teoría el alquimista y ahora introduce una distinción entre las naturalezas internas y las naturalezas externas de un metal. El plomo, por ejemplo, es caliente y húmedo al interior pero frío y seco al exterior, mientras que el oro es frío y seco al interior y caliente y húmedo al exterior. Propone también una teoría de la formación de los metales. En el seno de la tierra se unen el azufre y el mercurio bajo la influencia de los planetas; aquí el azufre proporciona el frío y la humedad. Pero, porque no son puros estos elementos, no se unen

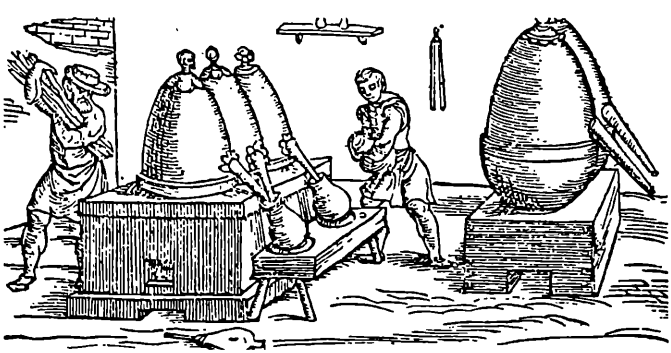
1 Es conocido como Géber o Geber en los textos franceses y anglosajones respectivamente.



Aparato para la destilación del azufre. Ilustración tomada de Aldo Mieli, *Panorama general de historia de la ciencia –La eclosión del Renacimiento–*, Buenos Aires, 1951, Espasa-Calpe Argentina; en adelante citado como (LER).

siempre en la misma relación, y por lo tanto se consiguen metales diferentes.

De esta teoría se pueden deducir consecuencias muy importantes. Según lo que hemos visto, el plomo y el oro en



Destilación del mercurio. (LER.)

El alquimista, óleo pintado por D. Teniers (1610-1690). (DE.)

particular tienen los mismos constituyentes (el azufre y el mercurio). Así, será posible transformar el plomo en oro, transmutarlo, por medio de la acción de ciertos elíxires.

Pero Jabir estaba convencido de que era una pérdida de tiempo intentar la realización de transmutaciones sobre bases puramente experimentales, porque los cambios efectuados en las calidades del metal tenían que ser explicados por cambios de cantidades (y tal es unas de las creencias más profundas del científico moderno); hacía falta empezar por un análisis teórico muy detallado de la composición de los metales. Y es a esta obra que va a dedicar gran parte de su vida. ¡Y qué obra! Empleó la balanza y utilizó también las propiedades más o menos mágicas de los números –por ejemplo asegura que los metales tienen diecisiete potencias– y de las letras que componen el nombre de los metales. Claro que todo eso parece un poco infantil pero, si sus conceptos se revelan un tanto nebulosos, los procedimientos prácticos de separación química que indica son de una claridad notable. Esta preocupación por efectuar una ejecución meticulosa de los experimentos tendrá una influencia muy profunda sobre sus suce-

El empleo de la balanza fue un paso técnico muy importante en la historia de la ciencia. El alquimista Jabir fue uno de los primeros en valerse de este instrumento de manera sistematizada. (LER.)

sores, y en especial en los de la Edad Media occidental, que se referirán a Jabir como su maestro de laboratorio.

En nuestra terminología moderna se puede decir que el alquimista árabe estandarizó las técnicas experimentales de su tiempo, describió también con sumo cuidado los aparatos empleados, sus métodos de explotación y todas estas pequeñas prácticas tan esenciales para el éxito de una manipulación. Por otro lado, como ya se ha mencionado, introdujo la valoración de lo cuantitativo, y así prepara, a unos siglos de distancia, esta sistematización de la medida exacta que un Lavoisier, por ejemplo, establecería en el siglo XVIII.

Es muy interesante notar que este prodigioso desarrollo intelectual y técnico, que conduce a la preparación de nuevos cuerpos químicos y al conocimiento experimental de nuevas propiedades de la materia, florece durante el *período negro* de la Edad Media occidental, en una de las etapas más bárbaras de la historia europea. La época medieval propiamente empieza hacia 1100; hasta esa fecha la contribución de Europa a la edificación de la ciencia es despreciable. Según la expresión de Dampier,[2] se trata de una "época de preparación". Además, desde un punto de vista histórico, la influencia de los árabes se extenderá hasta principios del siglo XV, pues si bien Carlos Martel los hace retroceder de Francia después de la batalla de Poitiers (732), no abandonarán definitivamente España sino varios siglos más tarde (1432, sitio de Granada).

Se puede fechar el principio de la escuela clásica arábiga en el siglo X. Su representante más eminente en física es Ibn-al-Haitham (965-1020), quien, a pesar del poco interés que manifiesta por las concepciones sobre la constitución de la materia, ejercerá una influencia muy grande sobre los físicos posteriores porque asocia a un trabajo experimental bien manejado el uso de argumentos matemáticos.

Esto es al mismo tiempo que Ibn-Sina[3] cumple un trabajo

2 Dampier, *A History of Science and its Relations with Philosophy and Religion*, Cambridge University Press, Cabridge, 1943.

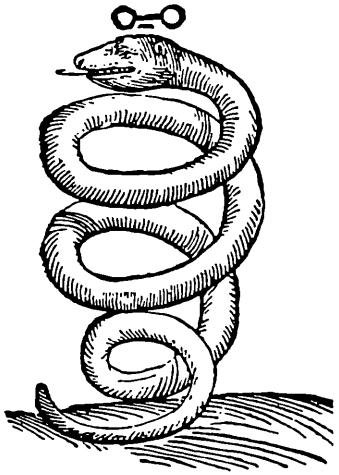
3 Avicena es la forma castellanizada de su nombre, Abou Ibn-Sina.

enciclopédico. Este científico, que nació en Persia en 980, tuvo durante su vida una fama tan considerable que los príncipes asiáticos se disputaban el honor de tenerle en sus cursos. Fue uno de los primeros en dar a conocer a Aristóteles. Se dice que murió en 1037, agotado por el trabajo y el libertinaje.

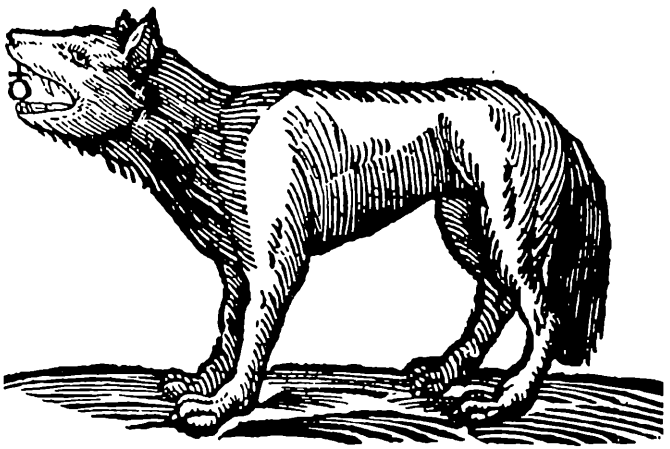
Ya se habían modificado las concepciones alquimistas; no cree Ibn-Sina en la posibilidad de la transmutación de los metales e interpreta los casos supuestos de *transmutación* reportados por unos autores como simples modificaciones de color. Durante toda la Edad Media su obra será muy estudiada: se empleaban todavía sus tratados de medicina en la Universidad de Lovaina en 1650. Hay que notar además que todos los libros científicos del tiempo fueron escritos en árabe, y es solamente en el siglo XI que aparecerá la primera traducción sistemática de ellos (en Montecassino, alrededor de 1060).

Es en España donde se producirá una fusión entre las civilizaciones árabe, judía y cristiana. Los judíos sefarditas, que Tito había deportado a España, conservaron su fe y sus tradiciones intelectuales, muy elaboradas. Se conoce el conjunto de sus doctrinas con el nombre de Cábala. Los rabinos consideran que hay dos mundos, el Mundo de Arriba y el Mundo de Abajo. El rabino Simeón dice: "Notad que los cuatro elementos primordiales constituyen el misterio de la fe; esconden el misterio de las legiones celestiales. A estos cuatro elementos celestiales corresponden los cuatro elementos materiales, el fuego, el agua, el aire y la tierra, que son el símbolo de un misterio supremo."[4] Cada elemento tiene dos cualidades; por ejemplo, la tierra es seca y fría. También cada elemento está asociado a un punto cardinal; por ejemplo, el sur corresponde al agua, el aire al este, etcétera. Y los cabalistas afirman la posibilidad de las transmutaciones: "el agua proviene del aire, el aire del fuego y el fuego del aire; así, los tres elementos, diferentes en apariencia, son

4 Fragmento del segundo libro del *Zohar*. Citado por Pierre Duhem, *Le système du monde –Histoire des doctrines cosmologiques de Platon a Copernic–*, Hermann, París, 1964, vol. V, p. 6.



Símbolos alquimistas del siglo XVII: arsénico (derecha) y antimonio (inferior). (DE.)



solamente uno en el fondo".[5] Le atribuye mucha importancia la Cábala a los metales; hay cuatro de ellos, de la misma manera que existen cuatro elementos. Son el oro, la plata, el cobre y el hierro. En este punto de la doctrina aparecen algunos aspectos contradictorios.

Pero no bastan los elementos judíos y árabes para explicar la evolución científica en la Edad Media. El ánimo de ésta, en su primera parte, se encuentra impregnado por el cristianismo, a lo menos superficialmente, puesto que el pueblo queda ligado a un conjunto de supersticiones y tradiciones, ellas mismas con raíces remotas todavía mal conocidas.

Al inicio de la cristiandad las concepciones simbólicas tienen una importancia considerable, en particular bajo la influencia de Orígenes, quien se esforzaba por reconciliar las doctrinas de la Biblia y las enseñanzas de la filosofía griega. Posteriormente la iglesia católica reaccionará contra este concepto, que será oficialmente condenado en el concilio de Nicea (325). Y la ciencia será considerada como nefasta: "Discutir sobre la naturaleza y la ubicación de la tierra no nos ayuda en nuestra esperanza de la vida por venir", decía Ambrosio, y poco a poco desaparecía la ciencia. Sin embargo, se hicieron notar reacciones contra la prohibición durante la *edad negra.* Por intermedio de Constantinopla, Rusia tomó conocimiento de los manuscritos griegos; Carlomagno estimulaba la creación de escuelas.

Resulta muy claro que la disciplina científica más estudiada es la astronomía. Pueden ser evocadas; para explicarlo, muchas razones (tal vez sea inquietante el gran número de ellas). En primer lugar, durante una temporada muy larga, el estudio de los cuerpos celestes ha revestido un carácter religioso innegable, pues algunas determinaciones astronómicas eran necesarias a la iglesia católica porque la fecha de la feria de las Pascuas se determinaba en relación con el calendario lunar. También la física de Aristóteles, que gozaba —como hemos visto anteriormente— de tanta fama, atribuye

[5] *Zohar,* II.

una importancia muy grande a la mecánica de los cuerpos celestes. No se olvidará tampoco el gran número de fenómenos celestiales que se encuentran reportados en la Biblia. De una manera general son admitidos los estudios de física y de astronomía con un fin apologético: para refutar los ataques de los paganos contra la Biblia.

De cualquier modo, no se hace ninguna investigación seria. Más bien se emplean palabras impresionantes. Considérese, por ejemplo, el caso de Beda el Venerable. Le tenían en gran estima sus contemporáneos. Nació en 672 en Inglaterra; a la edad de siete años ingresó en un convento y nunca salió de allí hasta su muerte, en 735. Fue el célebre autor del *Tratado sobre la naturaleza de las cosas.* Expone, como obvia y sin ninguna discusión o explicación, la química de los cuatro elementos según Isidoro de Sevilla y Plinio el Viejo, que ellos mismos habían encontrado en los escritos de los antiguos. Parece que a los lectores les bastaban expresiones del tipo "el cielo es una naturaleza sutil e ígnea".

Se puede citar solamente una excepción de valor, aquella de Johannes Scotus Erigena. Este filósofo era de origen irlandés y, pasando por Escocia, vino a establecerse en Francia. Refleja su apellido compuesto sus peregrinaciones: *Erin* = Irlanda, *Scotus* = escocés. Fue encargado por el rey Carlos el Calvo de la traducción de los manuscritos de filosofía platónica enviados por Miguel el Tartamudo, emperador de Constantinopla, al rey Luis el Bondadoso. Johannes los tradujo pero añadió muchos comentarios que son de máximo interés.

Se encuentra la teoría de los cuatro elementos en la base de la filosofía de Scotus. Al principio admite la existencia de cuatro elementos, que designa como "católicos", es decir, *universales.* Siguiendo el ejemplo de los griegos, les llama fuego, aire, agua y tierra, en razón del apellido de los cuerpos grandes que forman. Estos elementos son los constituyentes de todas las cosas, incluyendo el cielo y los cuerpos celestiales. Scotus insiste en especial sobre el peso de los elementos, y hará de ello una de las bases de su sistema astronómico. No sorprenderá el hecho de que Scotus tuvo altercados con

la Iglesia; pidió el papa que Francia expulsara al filósofo, y Scotus tuvo que refugiarse en Oxford, Inglaterra. Lo curioso es que, en un tiempo en el cual no se distinguía mucho el brazo secular del regular, esta aventura no perjudicara, a lo que parece, el éxito de la tesis de Scotus, y la doctrina del filósofo exiliado influyó tanto como la de un San Agustín.

No será hasta el siglo X que un conocimiento más moderno sea enseñado. En esta época la civilización árabe se difunde discretamente, gracias a la influencia de unos centros diseminados en Europa (en Francia, Alemania, Inglaterra e Italia). Habrá que esperar hasta el siglo XI para que se constituya un cuerpo de doctrina más original, y es solamente a partir del siglo XIII que se construirá un sistema más coherente –lo que no significa necesariamente más exacto.

Una receta para fabricar oro atribuida al alquimista Moisés

Tomar cobre, arsénico, azufre y plomo;
triturar la mezcla con aceite de rábano silvestre;
asarla sobre carbón, desulfurizarla y ponerla al lado.
Tomar una parte de cobre asado y tres partes de oro;
ponerlas en un crisol, calentar,
y encontrarán ustedes el todo cambiado en oro,
con la ayuda de Dios.

La Edad Media

El inicio del período medieval, de la Edad Media propiamente dicha, corresponde a la difusión en gran escala de la cultura árabe. Esto se debe parcialmente a que la Europa cristiana empieza a recuperar de los árabes algunos de los territorios que invadieron. Así, el rey Alfonso VI de España conquista Toledo en 1085, y, a mediados del siglo XII, la ciudad se había convertido en uno de los grandes centros de traducción al latín de las obras árabes. Sin embargo, en estas traducciones, los textos quedaban muchas veces entendidos solamente a medias y los traductores no eran muy escrupulosos, por lo que copian pura y sencillamente las palabras –y eventualmente deformándolas en el proceso– que no sabían cómo poner en latín. Por lo tanto se explica la supervivencia, en el lenguaje científico, de gran número de palabras de origen árabe, tales como alquimia, química, elíxir, talco, álgebra, etcétera. De cualquier modo, hace falta reconocer que el latín no tenía un vocabulario realmente adaptado a la descripción de los experimentos de un Al Jabir, por ejemplo.

Por lo demás, en la época medieval no se exige a los estudios físicos lo que ahora se espera de ellos. Poco más o menos, la ciencia es considerada como la sirvienta de la filosofía, y esta misma constituye solamente una rama de la religión; tal es la opinión general. Sin embargo se está delineando un nuevo movimiento de ideas que tiene su origen en la alquimia árabe y es influido por el espíritu cabalístico. Es este movimiento el que va a preparar el estallido científico del Renacimiento. Pero muchos de los francotiradores intelectuales tienen que esconderse porque el nuevo orden social no se muestra receptivo a las especulaciones que se sitúan fuera del cuadro establecido por el conformismo de la época, y cualquiera puede ser quemado

bajo la acusación de brujo o de nigromante. En todo caso, sigue la alquimia ejerciendo una atracción fuerte sobre los ánimos. Continúa proponiendo la trasmutación de los metales en oro por medio de la acción de cierto elíxir o de un producto misterioso, la Piedra Filosofal, sobre un metal como el plomo. Es la búsqueda y la fabricación de estos dos productos lo que constituye la Gran Obra (*Magna Opus*), es decir, el objeto de los estudios alquímicos.

Sin embargo, al lado de esta alquimia práctica, a veces llamada *alquimia operacional*, existía la *alquimia mística*, que, empleando el mismo vocabulario de la primera, describía y provocaba estados religiosos, nerviosos, místicos, etcétera. Es esta comunidad de vocabulario que hace tan difícil la interpretación de un texto alquímico; por otro lado, como era de esperarse, las dos *ramas* alquímicas se influyeron mutuamente y gran parte de los alquimistas prácticos se aplicaron con ardor a la magia. Así, según ciertos autores, un ritual sumamente complicado tenía que emplearse previamente a cualquier operación alquímica: en ciertas manipulaciones el operador se colocaba en el centro de un círculo dibujado en la arena, *el círculo mágico*, que los *demonios malos* no podían traspasar; gracias a fórmulas bien determinadas (y claro, secretas y celosamente guardadas) y complejas oraciones se conjuraba a los *demonios favorables*, pidiéndoles que ayudaran a realizar la Gran Obra.

Pero ciertos alquimistas se mostraban reticentes frente a estas tonterías y, aun si creyeron en la posibilidad de transmutar en oro los metales vulgares, no se dejaron precisamente arrastrar por fantasías de iluminados.

La palabra *alquimia* abarca también lo que llamaríamos ahora la química, rama que tuvo un desarrollo muy notable, por ejemplo en la preparación del alcohol o en la purificación de los metales. En el dominio de las técnicas la aportación del Occidente se manifiesta con brío; es así que el método de enfriamiento de los vapores destilados, que –claro, con algunos perfeccionamientos– se encuentra todavía en uso, es descrito por primera vez en un manuscrito del siglo XII: *Mappa Clavicula*. Otro manuscrito más reciente (del

siglo XIII), que se intitula la *Summa perfectionis* y que fue falsamente atribuido a Jabir, incluye muchas informaciones de gran valor. Es ciertamente de origen árabe, pero tiene gran número de adiciones y de comentarios tomados de los alquimistas de la época medieval. Allí, en particular, se puede encontrar una descripción bastante precisa de los aparatos y las técnicas necesarias para la fabricación del oro, y entre los métodos de control se insiste sobre el empleo de la balanza. Obviamente, esta inquietud por asegurar el control analítico se emparenta con el rigor científico moderno.

Varias teorías sobre la materia, muchas de ellas contradictorias, son formuladas en esa época. Si el autor de la *Summa perfectionis* admite que los metales están compuestos por azufre y mercurio, y que hay seis metales: el oro, la plata, el plomo, el estaño, el cobre y el hierro, en general los otros autores son mucho menos precisos y sus descripciones se encuentran perdidas en un almodrote pseudofilosófico. De todos modos, filósofos como Raimundo Lull, Arnaud de Villeneuve, Robert Grosse-Teste y Roger Bacon creen en la alquimia, pero en diversos grados. Y todos son personalidades muy extrañas, algunos con una vida insólita. Por ejemplo, Arnaud de Villeneuve nació en 1238, en Villeneuve (¿en Languedoc o en Cataluña?); se interesó en especial por la química, la medicina y la astrología. Uno de sus créditos que le valió la fama es haber hecho la predicción del fin del mundo...

Raimundo Lull nació en 1235 en Palma de Mallorca, de una familia rica de la nobleza. A los treinta años se retiró de la vida mundana y se hizo franciscano. En 1270, a la muerte del rey Luis IX de Francia, frente a Túnez concibió la idea de una cruzada pacífica y evangélica: enviar a los países infieles nubes de misioneros que desde luego no fracasarían en su labor de convertir a los árabes gracias a la fuerza de sus argumentaciones. Este proyecto llevó a Lull a realizar viajes largos por Europa y el Oriente Próximo y Medio. Se ha pretendido que, apedreado por los habitantes de Túnez, fue recogido por tripulantes de una nave genovesa, quienes lo llevaron, muerto o moribundo, a Mallorca. En la misma

Alberto Magno, 1193-1280. Académico dominico y alquimista alemán que tradujo la obra de Aristóteles al latín. Es autor de *De Mineralibus;* también contribuyó a la mecánica, a la geografía y a la biología. (DE.)

forma, se ha fijado la fecha de su fallecimiento el 29 de junio de 1315.

Lull todavía admite la existencia de cuatro elementos; cada elemento sencillo corresponde a una sola cualidad: corresponde el fuego al caliente, el aire a la humedad, el agua al frío y la tierra a lo seco. Pero existe una materia común a la composición de estos elementos. En su libro *Opusculum de Auditu Kabbalistico* –que tiene de cabalístico solamente el nombre–, Lull hace decir a su "materia primordial": "De mí, que soy la materia primordial, se hace la materia particular, parte sustancial de cada sustancia". Cosa extraña, Lull manifiesta cierta disidencia en lo relativo a las transmutaciones alquímicas; así, escribe: "la virtud elementativa posee las verdaderas condiciones que impiden que una especie se transforme en otra. Los alquimistas se lamentan de eso y encuentran allí más de una ocasión para llorar".[1] Sin embargo, la probidad obliga a mencionar que por Lull la palabra *materia* no designa más que una entidad metafísica; es así que el mallorquino explica con sumo cuidado que están compuestos los ángeles por tres materias, a saber: la voluntad, la inteligencia y la armonía.

El afamado Alberto Magno quería ser, en principio, sólo un compilador. Nació en Suabia, sur de Alemania, a finales del siglo XII o a principios del XIII. Por una temporada vivió en Padua, Italia, y se volvió dominico. Impartió sus enseñanzas en París y finalmente radicó en Colonia, donde murió en 1280. En esencia era un enciclopedista que alcanzó una fama enorme, gigante, y durante su vida y después de su muerte.[2] Antes de todo expuso el sistema de Aristóteles; lo deformó, no dejándolo sin crítica.

Alberto Magno fue en especial atacado por Roger Bacon: ¿cómo un monje mendicante, sin cultura académica, podría saber algo de valor? Hay que reconocer que Bacon, quien

1 Citado por Pierre Duhem, *Le systeme du monde...*, Hermann, París, 1964.

2 Es muy posible que el nombre de la famosa Plazza Maubert, en la vecindad de la Sorbona, sea una contracción de Plazza Maitre Albert (Maestro Alberto).

sufrió tanto en razón de sus muy extensos conocimientos, tenía sus razones para sentirse amargado. El que muchas veces sus contemporáneos designaron como el Doctor Admirable había nacido en 1214, en Somerset (sur de Inglaterra); después de haberse distinguido como estudiante en Oxford y en París, entró en la orden de los franciscanos en 1240. Pero su profunda erudición hizo que lo acusaran de practicar la brujería y la magia, y por lo tanto fue encarcelado durante muchos años. Cuando Clemente IV ascendió al trono papal, en 1265, lo puso en libertad. Pero cuando murió el papa, Bacon tuvo que volver a la cárcel, de donde salió poco antes de su muerte (en 1292 o en 1294).

Bacon se ha liberado de Aristóteles, lo que explica su oposición a las enseñanzas de Alberto Magno. En lo que se refiere a las doctrinas aristotélicas se expresa con mucha claridad: son defectuosas las traducciones y, aun si fueran exactas, uno no podría aprovechar tales conocimientos para enseñar la física. "Hay una ciencia que enseña cómo las cosas son generadas a partir de elementos y que trata de todas las sustancias inanimadas... de todo eso no se encuentra nada en las obras de Aristóteles." Bacon cree firmemente en la existencia de una materia universal que se encuentra en todo lugar, pero que se subdivide en sustancia espiritual y sustancia corporal; esta última se subdivide a su vez en sustancia celeste y sustancia lunaria; y así continúa.

En todo esto no se trata, a fin de cuentas, del atomismo. Pero, poco tiempo antes, una idea muy interesante había sido desarrollada por Robert Grosse-Teste, quien, admitiendo la existencia de una materia primordial, consideraba la luz como la forma primordial. Sin embargo, Gilles Colonna, también llamado a veces Gilles de Roma, va a reintroducir la idea del átomo. Este filósofo nació en Roma (de ahí su apellido) en 1247. Enseñó en la Universidad de París y fue encargado de la educación del futuro rey de Francia —colmo de honores— Felipe el Hermoso. Fue tan apreciado por sus contemporáneos que no esperaron su fallecimiento, en 1316, para otorgarle el título de Príncipe de los Teólogos. Sea lo que sea, reconsiderando algunas teorías antiguas, Gilles Colon-

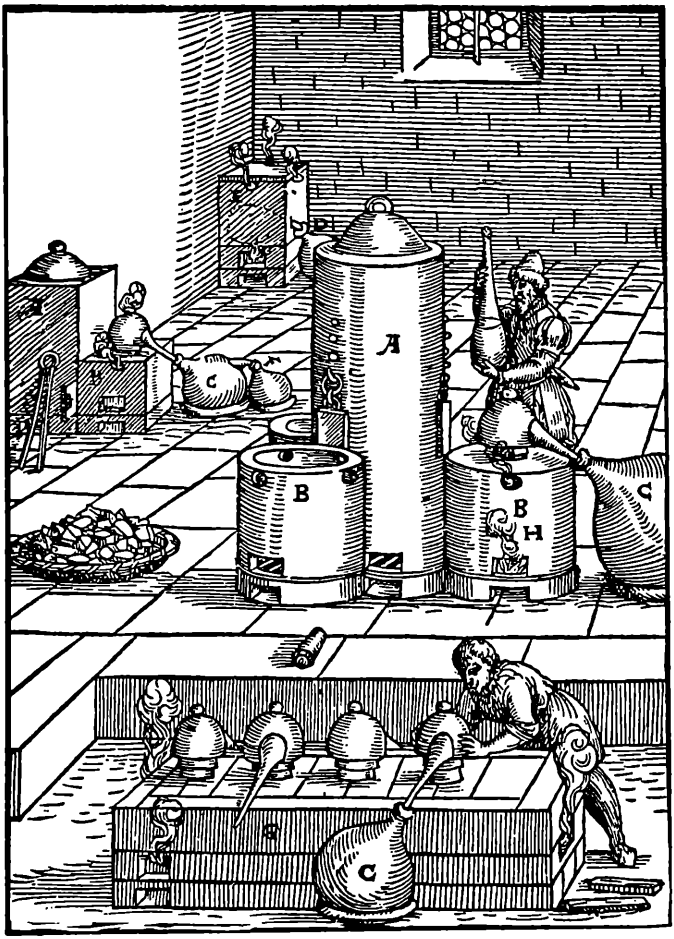
na establece una diferencia entre una magnitud y la manera como se encuentra realizada. Por ejemplo, hay una diferencia entre un metro cúbico y un metro cúbico de agua porque, al dividir en pequeñas partes un metro cúbico el agua, llegará un momento en el cual uno no tiene que ver con el agua sino con algo otro.

En lo que concierne a la existencia del vacío los filósofos están divididos. Para algunos el vacío no existe porque negaría la potencia de Dios. Para otros el vacío es concebible.

A pesar de la gran diversidad de opiniones que se manifiestan en esta época, uno puede establecer un balance relativo a la cuestión que aquí nos preocupa. En primer lugar, si las técnicas alquímicas se muestran concretamente en progreso, no hay concepciones globales que sean verdaderamente originales. Sin embargo se pueden notar unos aspectos positivos: por una parte, parece que se desarrolla la noción del análisis químico, y también hay cierto impulso por controlar los experimentos, aun los fantasmagóricos. Por otra, el concepto de método científico está naciendo con timidez. Por ejemplo, Grosse-Teste demuestra cómo de la repetición de unos fenómenos uno puede llegar a la idea de la existencia de una relación entre ellos.

¡Y aparte existía Roger Bacon! Ciertamente la gran contribución del Doctor Admirable fue presentir la relación entre las matemáticas y las ciencias experimentales, paso más revolucionario de lo que parece a simple vista pues era el enfrentarse a Aristóteles y contradecir la enseñanza del Peripatético, para quien física y matemáticas eran dos cosas radicalmente diferentes. En este paso se encuentran las semillas de la física del Renacimiento.

A grandes rasgos, parece que a fines de la época medieval se siente definitivamente la necesidad de un método racional de investigación. En tal trayectoria fue dirigido el esfuerzo de un Lull, quien buscó toda su vida un sistema de lógica universal, como más tarde lo hiciera Leibnitz.



El Renacimiento. Atanor y destilación del *agua aguda* (ácido nítrico). Ilustración del libro de Lazarus Ercker. (LER.)

El Renacimiento

Después de la Edad Media, época dominada por las contiendas teológicas y sumida en un estado perpetuo de descomposición económica generada por guerras fútiles y sangrientas que devastaban a las naciones, va a llegar un período de luz, de floración. Sin duda el Renacimiento representa el estallido de marcos demasiado rígidos, una liberación del autoritarismo religioso, un engrandecimiento del mundo occidental, el nacimiento del concepto de cultura. Pero esta transformación, que de cualquier modo se volverá efectiva sólo para determinadas clases sociales, no se lleva a cabo de un día para otro. Es una gradación, un proceso continuo que podemos contemplar. Y de hecho tal vez corresponda más el Renacimiento a cierto estado de ánimo que a una división cronológica neta. Por otro lado, ¿qué hizo posible este Renacimiento?; y ¿cómo?

En primer lugar, es de importancia fundamental la formación de los idiomas. Durante la Edad Media se crea en muchos países una lengua propia, un idioma nacional, según nuestra terminología moderna. Poco a poco estos idiomas van a ser adoptados, reconocidos y efectivamente empleados para la composición de obras literarias; de esta manera se profundizó la ruptura con los tiempos anteriores. Por ejemplo, desde el siglo XIII Dante Alighieri escribió en italiano su *Divina comedia*, inmortalizando y fijando, al menos por un tiempo, el idioma italiano.

La situación política de Europa favorecía también este regreso a las fuentes iniciales; muchos griegos emigran y se van hacia el oeste, especialmente a Italia, y la captura de Constantinopla por los turcos, en 1453, acelerará además este proceso. Una de las consecuencias de esta migración de personas, muchas de ellas muy cultas, es que gran número de

textos griegos y latinos van así a llegar a Italia, Francia, España y Alemania. Se despierta un interés inmediato y se inicia en toda Europa una verdadera caza de los manuscritos. Claro que también la invención de la tipografía, durante el siglo XV, será un factor determinante en la difusión de las ideas nuevas, gracias a la reproducción mecanizada de los textos y a la disminución de sus costos de fabricación.

Así se producirá y se afirmará, poco a poco, la separación de los intelectuales de las enseñanzas filosóficas de la Edad Media. Por otro lado, durante el siglo XV la Universidad de París (la Sorbona), uno de los máximos centros intelectuales de la Edad Media, se empobrece, en particular a causa de la inestabilidad política y económica. Entonces la abandonan sus profesores, que se refugian en las nuevas universidades que se abren por todas partes del Sacro Imperio Germano, y primeramente en Praga. Claro que van a enseñar las doctrinas que impartían en Francia, pero los estudiantes, menos *condicionados,* serán más permeables a los nuevos conceptos.

No es sorprendente, entonces, que en lo que se refiere a la naturaleza de la materia los maestros parisinos del siglo XV presentan teorías apenas originales. No son bien diferentes las enseñanzas de Jorge de Bruselas, de Jean Hennon, del monje franciscano Nicolaus de Orbelis o de Pierre Tataret (a principios del siglo XVI). Para ellos no existe el vacío, pero su existencia no sería un absurdo. Es uno de estos filósofos, Hennon, quien va a proponer la famosísima fórmula: "La naturaleza tiene repugnancia hacia el vacío". Habrá que esperar en especial los experimentos de Páscal, durante el siglo XVII, para refutar esta afirmación y establecer definitivamente la existencia del vacío. Desgraciadamente se imparten cursos semejantes en Alemania. Todo este período se manifiesta como una época de contrastes inmensos. Así, los grandes navegantes, siguiendo el ejemplo de Enrique, rey de Portugal, quien descubrió las Azores en 1419, dibujan un mapa terrestre un poquito menos imaginativo y fantástico que los legados por la Edad Media. Por otra parte, todavía tiene adeptos la alquimia clásica.

Tal vez sea Nicolás de Cusa un filósofo típico de esta

Globo del tratado de Konrad Kyeser, en forma de dragón, que un caballero sostiene por medio de una cuerda. Lo curioso es que el dragón se mantenía elevado en el aire gracias al aire calentado que producía una pequeña lámpara de petróleo que se introducía en la boca del dragón. Ya desde 1405 se conocía y se aplicaba el principio que en 1783 serviría a los hermanos Montgolfier para elevar su aeróstato. (LER.)

época. Nació en 1401 en Cusa, un pueblito de Renania; hace buenos estudios en Heidelberg y después en Italia. Se dedica a la teología y a estudiar las ciencias. Morirá teniendo la dignidad de cardenal, el 11 de agosto de 1464; pero ¿qué no se puede perdonar a un autor que intitula su primer libro *La ignorancia sabia*?

Filosóficamente, Nicolás de Cusa está muy influido por Scotus y todavía pertenece al período medieval. Según él, es la naturaleza la que es el elemento universal; éste se resuelve en cuatro elementos principales, y cada uno de ellos corresponde a una de las cuatro regiones que es posible delinear alrededor del centro del mundo. Nada es puro en el universo creado; por lo tanto existen solamente mixtos, es decir, combinaciones de elementos. Se combinan entre sí aquellos mixtos generales, generando mixtos especiales que son los cuerpos individuales que podemos observar. Se conecta estrechamente esta teoría con las concepciones antiguas, y, sin embargo, está expuesta en un contexto mucho más científico. Por ejemplo, sugiere el autor toda una serie de experimentos que serán realizados y discutidos mucho más tarde por van Helmont. Se puede percibir claramente aquí la transición: teorías antiguas, ánimo nuevo.

Quizá nadie mejor que Paracelso fue tan consciente de la brecha con la Edad Media. Philippus Aureolus Theophrastus Bombastus van Hohenheim, llamado Paracelso, nació en 1493, en Einsiedeln, e hizo estudios bastante considerables de medicina. Viajó mucho a través de toda Europa y fue a establecerse en Basilea, en 1527. Allí asiste en sus enfermedades al editor Frobenius, y cura a Erasmo. Gracias al crédito de Frobenius puede enseñar en la Universidad de Basilea. Rápidamente su enseñanza se demuestra revolucionaria y su actuación muy dramática. Por ejemplo, mandó quemar con solemnidad las obras de Avicena, declarando que se encontraban más conocimientos de medicina en sus chancletas que en todos los volúmenes escritos por los antiguos. Fue expulsado de Basilea a instigación de sus colegas y entonces volvió a viajar por Europa, muriendo en la miseria en 1541.

Retrato de Paracelso a los 45 años de edad, realizado por Agustín Hirschvogel. (LER.)

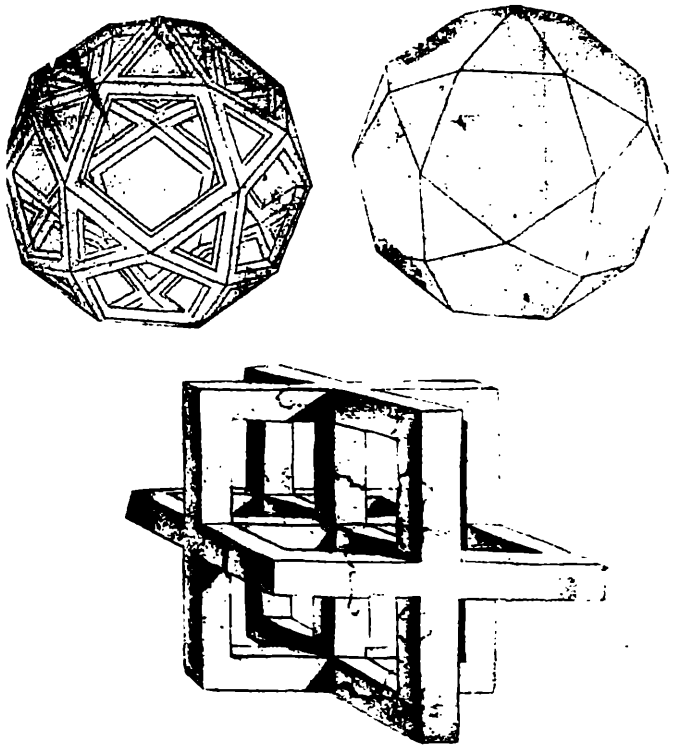
Hombre de visión, Paracelso ataca ostensiblemente a la enseñanza oficial, que apelaba solamente a la memoria, y desarrolla sistemáticamente una nueva enseñanza basada en la observación y la experimentación. Se interesó en especial por la química, siendo él quien introdujo por primera vez los remedios químicos en la farmacopea. Son de gran importancia sus obras de química porque modificó de una manera apreciable la teoría de los cuatro elementos. Considera Paracelso tres elementos originales: el azufre o fuego, el mercurio o aire y el sol o tierra. De hecho estos tres elementos son únicamente principios o cualidades; el fuego es el principio flamable, el aire es el principio fusible o volátil y la tierra es el principio incombustible y no volátil. Admitía que estos tres elementos estaban compuestos por los cuatro elementos aristotélicos: el agua, el aire, el fuego y la tierra; y encontraba una confirmación de su teoría en la combustión

de la madera: aquí se consiguen flamas (es decir el elemento fuego), humo (o sea el elemento aire) y cenizas (que pertenecen al elemento tierra). Por otro lado, acepta la posibilidad de la transmutación de los metales. Sin embargo no parece que haya intentado realizar tal operación. Sus obras tuvieron una muy amplia resonancia en toda la Europa erudita y fueron admiradas y difamadas con una rara violencia. Todavía se le considera una personalidad controvertida.

Al ver la palabra –casi mágica– *Renacimiento*, dos nombres vienen a la memoria, ambos ilustrísimos.

Hijo natural de un abogado, Pietro da Vinci, y de Catarina, una joven campesina, Leonardo, quien nació en 1462 en el pueblecito de Vinci, empezó su carrera de pintor a los catorce años, al entrar en el taller del maestro Andrea Verrochio. Más tarde debía conocer la vida brillante y cálida de los cursos italianos: Florencia, Milán, Roma. Después responde a la invitación del rey Francisco I y se va a Francia; en razón de la amistad que se va formando entre el sabio artista y el monarca, establece allí su residencia hasta su muerte, el 2 de mayo de 1519, en una casa próxima al castillo de Amboise. Leonardo da Vinci es, ciertamente, uno de los más raros y auténticos (y tan traicionados) ejemplos de genio. Al mismo tiempo pintor y arquitecto, ingeniero y científico, y hombre, no tuvo ninguna influencia en la

Autorretrato de Leonardo da Vinci dibujado con tiza roja. (DE.)



Dibujos de da Vinci publicados en el *Codice Atlantico.* (LER.)

evolución científica de su época pues los resultados de sus estudios no fueron conocidos por sus contemporáneos. A pesar de que Leonardo creó al primer golpe el método científico en sus dos aspectos, experimental y lógico, al asociar a un análisis de los hechos de la naturaleza un argumento matemático que persigue la imprecusión, infortunadamente no se sabe nada de seguro acerca de sus ideas sobre la materia. Parece probable que adoptó las teorías

atómicas de Gilles Colonna: teóricamente la materia puede dividirse infinitamente, pero no se puede hacer esto en la práctica porque se produce un momento en el cual las partes no tienen las propiedades del todo.

Cortejado Leonardo, atormentado Galileo. En 1564, en la ciudad de Pisa, nacía un varón, el mayor de la que será una familia de seis niños. Adolescente, Galileo Galilei se inscribe en la Universidad de Pisa en 1581, a fin de estudiar la medicina, pero descubre el principio del isocronismo de las pequeñas oscilaciones, que va a ser, durante unos siglos, la base de la relojería de precisión. Le gusta tanto al joven Galileo la ciencia que abandona la medicina para dedicarse al estudio de la geometría, y recibe en 1589 un nombramiento de profesor de matemáticas en Pisa. De inmediato ataca las teorías mecánicas de Aristóteles, lo cual lo convierte en una figura muy impopular entre sus colegas. Le es necesario huir, y en 1592 se refugia en Padua, donde lo nombran profesor. Allí inventa el termómetro. Entonces se ocupa de astronomía y acepta las teorías de Copérnico, el canónigo polaco, según las cuales el Sol está en el centro del universo, mientras que las antiguas teorías de Ptolomeo consideraban a la Tierra como centro.

El interés de Galileo por este asunto lo conduce a inventar el telescopio (todavía llamado telescopio de Galileo o refractivo); con este nuevo instrumento, que presentó solemnemente al senado de Venecia, acumula los descubrimientos astronómicos, tales como el de los satélites de Júpiter, los anillos de Saturno, las manchas del Sol, etcétera, y todo eso demostraba que el Sol no era inmutable.

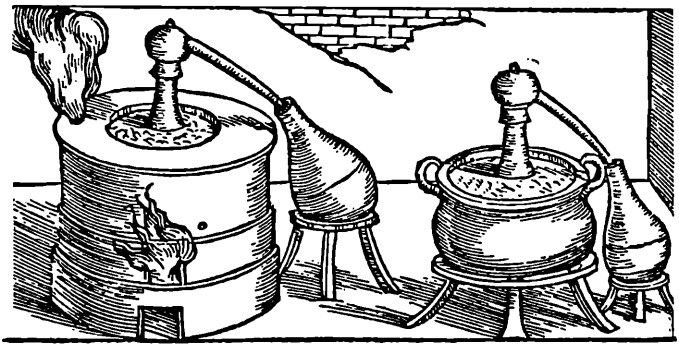
En 1610 radica en Florencia; cinco años más tarde lo convocan a Roma, y, el 25 de febrero de 1616, bajo amenazas de torturas y de encarcelamiento, tiene que comprometerse a abandonar sus investigaciones. Galileo regresó, pues, a Florencia; y vuelve a investigar. Publica en 1632 los resultados generales de sus trabajos sobre astronomía y mecánica celeste. Lo obliga la Inquisición a regresar a Roma, donde lo juzgaron y sentenciaron a renunciar solemnemente a sus errores, o sea a sus descubrimientos científicos. Se dice

que en el curso de la ceremonia de abjuración no pudo abstenerse de murmurar: "e piur si mouve..." ("y sin embargo se mueve..."). Puesto en libertad restringida por la Inquisición, murió agotado en 1642, después de haber tenido el valor de publicar una última obra en la cual daba cuenta de sus investigaciones sobre la caída de los cuerpos, investigaciones que abrían un nuevo capítulo de la física moderna.

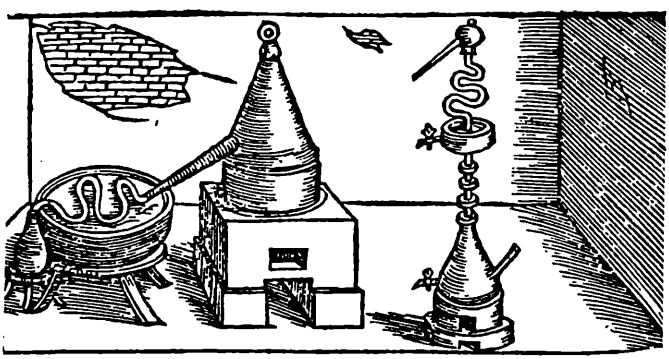
A pesar del hecho de que no conocemos nada, pero absolutamente nada, acerca de las ideas de Galileo sobre la estructura de la materia, su importancia es máxima en lo que nos concierne porque demostró cómo hacer la física. No se limitó a crear el método experimental sino que también lo enseñó y le dio difusión, asociándolo generalmente a teoremas de geometría. Se le puede asignar, sin exageración, el título de padre de la física moderna.

No se comprometen mucho los otros grandes científicos del Renacimiento con las teorías sobre la materia. ¿Por qué es bastante difícil someterlas al control de la experimentación? Siguiendo el ejemplo de Johann Müller Regiomontanus, quien fue ciertamente el primer humanista que se ocupó a un mismo tiempo de literatura y del estudio de las ciencias, los intelectuales de ese período toman un interés especial por la mecánica y la astronomía, pero –indicación clara– no tanto en el aspecto cosmológico de esta última disciplina sino en su aspecto mecánico.

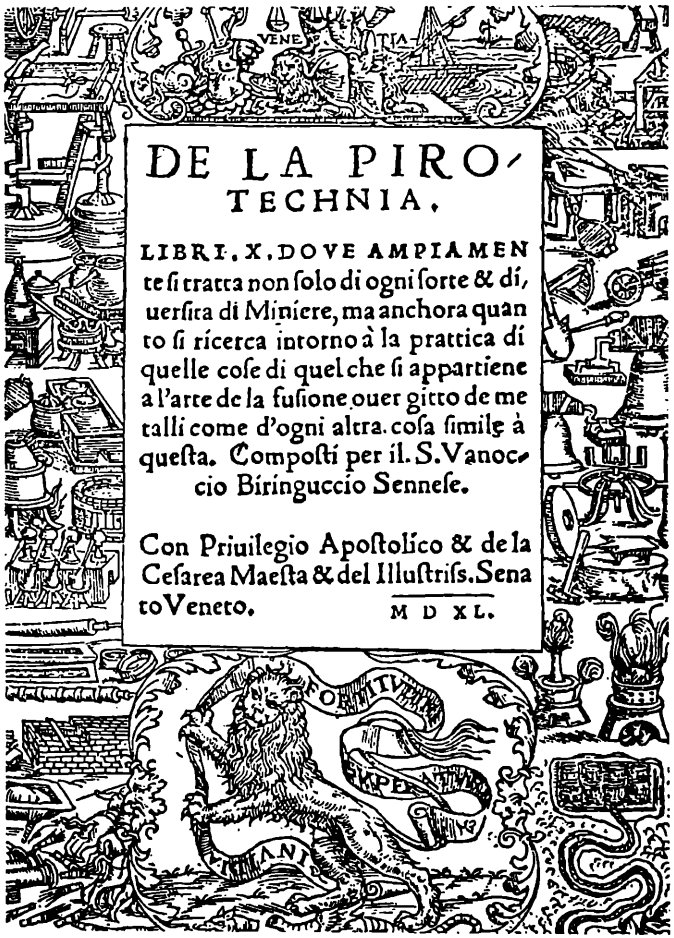
En todo el siglo XVI se pueden encontrar solamente dos libros de cierto valor que tratan un poco de la naturaleza de la materia. El primer volumen es de un ciudadano de Siena cuya vida es prácticamente desconocida, Vannoccio Biringuccio, quien publica en Venecia, en 1540, un libro titulado *De la pirotechnia,* en donde recoge las teorías árabes sobre la génesis de los metales. Por ejemplo, considera al antimonio como una sustancia cuya naturaleza lo hubiera impulsado a ser un metal, pero que un exceso de caliente y de seco impidió su desarrollo. Por otro lado manifiesta un escepticismo de buena calidad en lo que respecta a las otras formaciones alquímicas porque, dice, nunca ha encontrado un aceite que pueda cambiar plata en oro.



Destilación a baño de maría. Las dos ilustraciones de esta página pertenecen al libro de Biringuccio: *De la pirotechnia.* (LER.)



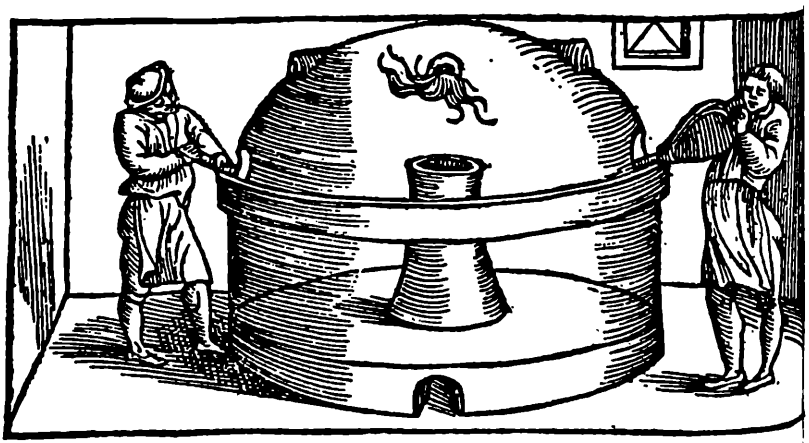
Destilación de alcohol con condensador. (LER.)



Portada de la primera edición (1540) de *De la pirotechnia*, de Biringuccio, en donde se aborda la génesis de los metales. (LER.)

El ejemplo de Giovanni Baptista Porta, napolitano que viajó extensamente por Fancia, España y Alemania, es muy característico del giro de los ánimos. En 1558 publicó la primera edición de su libro con el título muy revelador de *Magia naturalis*. La tercera parte de la obra está dedicada a la transmutación de los metales; mas por este vocablo entiende el autor no solamente la transformación de plata en oro sino también todo lo que ahora llamamos reacciones químicas.

Por el mismo tiempo da un gran paso adelante el estudio de la electricidad y del magnetismo con William Gilbert, quien nació en 1540 en el seno de una antigua familia de Suffolk (Inglaterra). En 1558 ingresó en la Universidad de Cambridge para estudiar matemáticas y después medicina. Viajó durante unos años y de vuelta a su patria consiguió el nombramiento de médico ordinario de la reina Isabel I. Su casa, cercana a la catedral de San Pablo, en Londres, se volvió rápidamente el lugar de reunión de los científicos. De estas tertulias nació la afamada Royal Society, una de las



Horno con reverbero para fundir metales. (LER.)

primeras academias científicas, que va a desempeñar un papel importantísimo en el desarrollo y crecimiento de todas las ramas de la ciencia. Hasta su muerte, en 1603, se dedicará Gilbert a sus investigaciones científicas. La nueva disciplina, que prácticamente él creó solo, no va a influir de inmediato de manera directa sobre las concepciones de la materia, y habrá que esperar todavía unos siglos antes de estar en posesión de una teoría coherente sobre el conjunto de los fenómenos materiales.

Así nació un nuevo mundo, predecesor y próximo del nuestro. Son atacados y destruidos los modos antiguos del pensamiento. Se desarrolla el método científico, que niega cualquier autoridad y que se quiere solamente experimental y lógico. Al mismo tiempo –y claro que existe una correlación muy estrecha entre todos estos acontecimientos– se estableció una nueva forma de sociedad y se produjo un cambio irreversible en la economía. El hecho esencial que permanece es que ahora disponen los científicos de una base de despegue lo suficientemente sólida para sustentar su gran aventura, la de ellos y la de toda la humanidad, la gran aventura al fondo de la materia.

La edad de la razón. Francis Bacon (1561-1626) fue uno de los creadores del método experimental con su libro *Instauratio magna.* Así, la investigación se independiza del razonamiento escolástico y deductivo.

La edad de la razón

A pesar del lustre intelectual del Renacimiento, se mantiene todavía muy vivaz el ánimo supersticioso medieval. Por ejemplo, cuando se fundara en Londres la afamada Royal Society, en 1660, la primera preocupación de sus miembros –y algunos de ellos eran ya ilustres– va a ser ir al fondo de curiosas aserciones. Se decía comúnmente que una araña colocada en el interior de un círculo mágico no podía escapar. Se hizo el experimento con todo el cuidado requerido y se constató que a la araña no le importaba de ninguna manera el círculo mágico. Lo que hay que señalar del gran número de anécdotas semejantes que nos han llegado es la obvia inquietud de ver, de constatar. Hay aquí todo un trabajo de desmontadura, cuya necesidad se hacía imperiosa, que va a iniciarse valerosamente en el siglo XVII y que continuará hasta bien avanzado el sigo XVIII. Así se afirma una doble corriente: por un lado rechazar el falso, el empírico, el *se dice,* los decretos de la *sabiduría popular;* por otro lado construir lo verdadero, determinar las relaciones entre los fenómenos reales y edificar una terminología adecuada. Esto último tiene una importancia primordial. Porque la ciencia se expresa y se comunica por medio de palabras, se necesita un vocabulario adaptado, lo suficientemente flexible para poder acomodarse a las exigencias del momento, pero al mismo tiempo lógico, claro y lúcido.

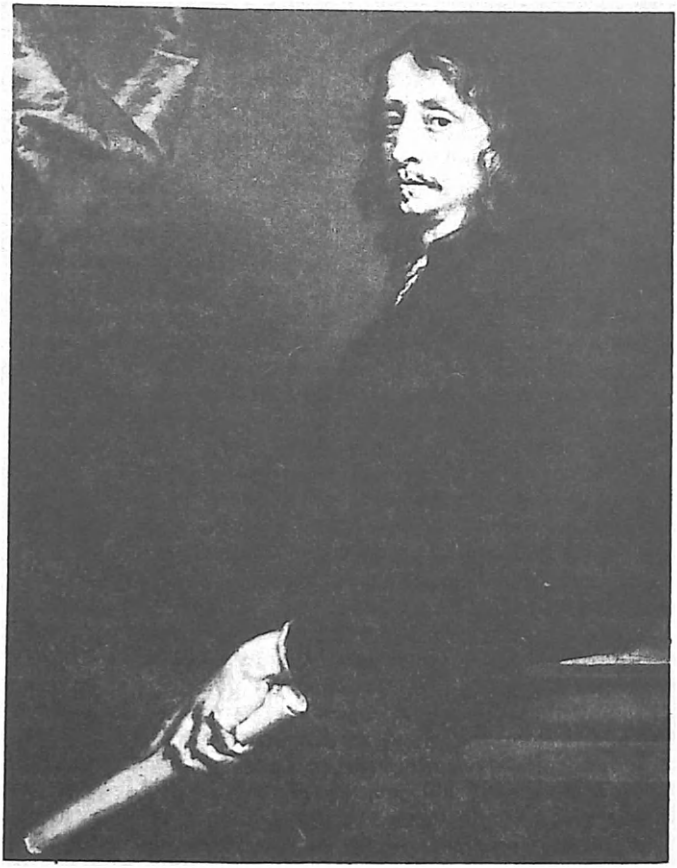
Durante el siglo XVII el atomismo reaparece en el pensamiento científico y filosófico. Por ejemplo, el canciller Francis Bacon será por una temporada partidario de la existencia de átomos, y explicará que el calor es debido a una vibración de las pequeñas partículas que constituyen a todos los cuerpos. También la antigua teoría según la cual uno no puede dividir infinitamente un cuerpo todavía cuenta

Símbolos del siglo XVII de elementos. La ilustración superior representa a la plata y la inferior al hierro. (DE.)

con adeptos, y el holandés Daniel Sennert (1572-1637) va a aplicarla a la química. Para Sennert, las sustancias tienen que estar compuestas por elementos sencillos, y la descomposición de los varios cuerpos materiales conduce necesariamente a los mismos elementos. Concretamente admite la existencia de cuatro tipos de átomos, que de hecho corresponden a los cuatro elementos clásicos, y que, al combinarse entre sí, generan elementos del segundo orden o elementos mixtos del primer orden. Admite también Sennert –y dicho punto es muy importante– que los átomos conservan su individualidad dentro de las varias combinaciones en que pueden ser implicados. Más tarde, Boyle precisará todas estas ideas.

Indiscutiblemente, van Helmont es una de las personas más extrañas del siglo XVII científico, y no obstante pertenece todavía por muchos aspectos a la edad medieval (¿por qué estudió la mística y la magia con los jesuitas?). Sea lo que sea, además de breves estudios de teología, Johann Baptista van Helmont estudió medicina en Lovaina y, gracias a un matrimonio que lo hizo rico, pudo dedicarse completamente a sus investigaciones. Pero es solamente después de su muerte, en 1648, que fueron publicados sus manuscritos.

En todo caso, van Helmont rechaza muy claramente la teoría de los cuatro elementos y la de los tres principios. Admite solamente dos elementos primitivos: el agua y el aire. Pero introduce una diferencia entre estos dos elementos y considera que el agua es más activa porque uno la puede cambiar en cualquier otra forma de materia, con excepción del aire. En apoyo de su teoría, van Helmont invoca los resultados de un experimento cuya idea proviene de Nicolás de Cusa: tomó un pedazo de madera y lo pesó; después lo quemó y pesó las cenizas. Pensaba obtener así el peso del agua por diferencia. Otro de sus experimentos es bastante interesante: plantó un sauce llorón, cuyo peso conocía, en tierra seca, de peso también conocido. Durante cinco años no se hizo más que regar el árbol; al fin del experimento había aumentado el peso del sauce en 84 kilogramos mientras que la tierra había perdido aproximadamente 57 gramos. Conclusión: los 84 kilogramos de madera se formaron a



Johann Baptista van Helmont (1577-1644) realizó un estudio detallado del dióxido de carbono y llevó a cabo experimentos con materias orgánicas carbonáceas. Rechaza la tradicional teoría de los cuatro elementos, admitiendo solamente dos: el agua y el aire. (DE.)

partir del agua proporcionada (habrá que esperar muchos años para saber que las plantas absorben directamente el gas carbónico del aire). En éste, como en muchos otros trabajos, van Helmont insiste en la idea de la conservación de la materia, que va a constituir uno de los grandes conceptos de la física, hasta que Einstein demuestre, en el siglo XX, que es más correcto hablar de la conservación de la energía. Muchas veces van Helmont saca conclusiones incorrectas de experimentos sumamente ingeniosos; no importa. Siempre insiste sobre la necesidad de un método científico, de una argumentación impecable (gracias al uso de la lógica formal) y de la utilización de las matemáticas. Pero es el mismo hombre quien admite dos fuentes completamente distintas de conocimiento: el experimento sensorial y la iluminación divina. También cree, con toda convicción, en la transmutación, y afirma en su libro *Vida eterna* que una vez le regaló un *adepto* –es decir un iniciado en los secretos alquímicos– 1/4 de grano (0,015 gramos) de un polvo capaz de cambiar 8 onzas (226,8 gramos) de mercurio en oro puro.

Uno de los científicos más notables del siglo XVII es ciertamente Robert Boyle. Nació el 25 de enero de 1627 de una rica familia de la nobleza de Irlanda. Viajó mucho por Europa, pero siempre Inglaterra quedaba como su puerto de matrícula. Era extremadamente religioso, a tal punto que, en 1680, rehusó la presidencia de la Royal Society porque le hubiera sido necesario jurar. Gracias a su fortuna le fue posible dedicar su vida a los dos temas que más le gustaban: la teología y la ciencia. Debe notarse que sus investigaciones científicas cubren muchos campos: química, electricidad, magnetismo, y en todas estas disciplinas sus contribuciones se muestran muy importantes, hasta su muerte, el 30 de diciembre de 1691. Es más conocido ahora su nombre en razón de la ley que enunció, y que fue también descrita por el francés Mariotte:[1] "a temperatura constante, el producto

1 Habría, tal vez, unas comparaciones que se podrían hacer entre Robert Boyle y Edme Mariotte (1620-1684). Ordenado sacerdote, Mariotte dedicó una gran parte de su tiempo a la investigación científica. Sus trabajos conciernen ante todo la hidrostática y la teoría de la visión.

del volumen de un gas por su presión es constante". En realidad esta ley es solamente aproximativa y se sabe desde hace muchos años que son más complicados los hechos. Pero no importa mucho aquí; lo que es sumamente importante es que, para interpretar los resultados de sus experimentos, Boyle supone que el aire está constituido por distintas pequeñas partículas; si a uno se les representa como pequeños resortes en forma de hélice se puede entender por qué se encuentra disminuido el volumen cuando aumente la presión. Claro que no afirmaba el autor que estas partículas tenían forma de resorte; se trataba solamente de una imagen sugerente. De cualquier modo, Boyle afirma enfáticamente que aquellas partículas se mueven libremente, que pueden chocar contra las paredes del recipiente que las contiene y que el calor es provocado por sus movimientos en todas direcciones. Por otro lado, declaró que las partículas se mueven en el vacío, del cual demostró nuevamente su existencia.

Boyle define también los elementos químicos en su

Robert Boyle es famoso por sus experimentos con gases, sus trabajos sobre el origen mecánico del calor y su descubrimiento independiente del fósforo. Fue uno de los fundadores del método de análisis cuantitativo. (DE.)

tratado *Sceptical Chymist* (*Químico escéptico*), publicado en Londres en 1661. En este texto se expresa con una claridad notable:

> Entiendo por elementos, como estos químicos que explicándose claramente hablan de principios, unos cuerpos primordiales y sencillos que, al no estar compuestos por otros cuerpos o por otro cuerpo, son los ingredientes de los cuales son inmediatamente compuestos todos los cuerpos llamados mixtos perfectos [es decir compuestos] y en los cuales son completamente resueltos.

Sin embargo se trata del mismo hombre que mantenía su fe en la transmutación de los metales.

Muchas otras teorías de la materia aparecieron en esta época, por ejemplo la ley del muy célebre químico Glauber. Nació en Karlstadt en 1604 y murió en Amsterdam en 1670. Sus obras, escritas en alemán, fueron traducidas al latín, al francés y al inglés, lo que indica bien el interés que despertaron, y todavía se conoce una sal de Glauber. La teoría atómica que elaboró se parece a la de Paracelso, sólo que el químico alemán sustituye el agua por el mercurio de Paracelso.

Más original es la teoría de Johann Joachim Becher, alemán también, nacido en Spira en 1635. Durante algún tiempo fue profesor de medicina en la Universidad de Maguncia, pero le gustaba mucho más la química que el arte medicinal, y pudo viajar, lo que le permitió difundir sus ideas personales. No se sabe con certeza dónde murió; probablemente en Londres en 1682. Había publicado su libro más importante en Francfort, en 1669, con el título *Physica subterranea*. Becher rechaza completamente la teoría de Paracelso y admite tres elementos: el aire, el agua y la tierra. Sin embargo, el aire parece ser más un agente que un elemento, y Becher considera tres especies de tierras: la *terra lapidea*, fusible y convertible en vidrio; la *terra pinguis*, grasa, combustible y sulfurosa; y la *terra mercurialis*, fluida, sutil y volátil. En el fondo esta *terra pinguis* corresponde al antiguo elemento fuego, que se volviera luego en el flogisto (fluido

Glaubert estudió métodos para preparar diversos ácidos minerales. (DE.)

imaginado por los químicos para explicar el fenómeno de la combustión).

Otros científicos no intentan construir nuevas teorías; más bien se dedican a luchar contra los errores admitidos. Tal vez Sala fue el prototipo de esta clase de investigadores –no tan afamados pero muy sólidos– que ayudaron de forma indiscutible en la edificación de una disciplina más y más científica cada vez. Angelo Sala nació en Vicencia, Italia. Todavía muy joven marchó a Alemania, donde pasó toda su vida (murió en 1640). Hay que notar que los trabajos químicos de este médico de formación, quien ejerció el arte de Esculapio en

Johann Joachim Becher fue el fundador de la teoría del flogisto. Sus experimentos con minerales son descritos en su *Physica subterranea*. Stahl recopiló sus puntos de vista sobre la combustión en *Specimen Becherianum*. Becher rechaza la teoría de Paracelso y admite tres elementos: el aire, el agua y la tierra, esta última subdividida en tres especies. (DE.)

Dresde y más tarde en Baviera y Austria, eran bastante bien conocidos por sus contemporáneos. Por ejemplo, se puede establecer sin duda que fueron discutidos en Ruán, Francia, en el año 1650. Se dedicó Sala a atacar la transmutación. Cuando se introduzca un alambre de hierro en una solución sulfúrica de cobre, un polvo muy fino, de color amarillo y brillante, se encuentra en el vaso donde fue iniciada la reacción. Pero entonces se pensaba que tal polvo era oro porque tenía la apariencia de aquel metal, y afirmaban los alquimistas que habían tenido éxito en la transmutación del cobre en oro. Esencialmente, Sala se esforzó por demostrar que el cobre que aparecía se encontraba anteriormente en la solución. Este problema puede parecer trivial ahora, pero en la época no era tan obvia la respuesta. No hay que olvidar que los productos químicos no eran bien puros; al contrario, contenían muchas veces impurezas que producían reacciones químicas parásitas, las cuales resultaba muy fácil llamar reacciones milagrosas.

No se debería concluir que, de repente, se va a transformar esta época en una era de racionalismo. Hay, por ejemplo, el caso de Tachenius. Otto Tachenius nació en 1620 en Herford, Westfalia, de un molinero y de una ex abacera. Estudió botica en Lemgo y manifestó un gran interés por la magia. Fue expulsado, acusado de robo; trabajó en varias ciudades de Alemania, y, al fin, en 1653, recibió en Padua su diploma de médico; murió en 1700. Propuso Tachenius una teoría muy extraña, que reduce todos los compuestos sublunarios (a lo que parece, todos los que estaban *ocultos*) a combinaciones de ácido y de álcalis. Se dice que esto se le ocurrió a Tachenius cuando se enteró de los procedimientos para la fabricación del jabón.

En el siglo XVII toda una escuela atomística francesa se hace notar por la ingeniosidad de sus conceptos, a pesar de que la fantasía se mezcla todavía demasiado con la reflexión científica. Así, el gran Descartes se complació en imaginar una forma específica para las varias partículas. Explicó que las partículas de las sustancias ácidas tienen forma de láminas puntiagudas (¿no se habla de un sabor agudo?); por el

contrario, claro que será flexible una partícula de aceite, etcétera. Será muy popular este tipo de ideas en las esferas científicas, y el afamado *Cours de Chymie* (*Curso de química*), publicado en 1675 por Nicolas Lémery, las menciona.

Mientras tanto, la filosofía de Epicuro suscita nuevamente interés. En 1649 el ilustre matemático y filósofo francés Pierre Gassendi reintroduce, cristianizándola de paso, la teoría griega de los átomos; los átomos existen, pero ahora no son eternos. Dios los creó, otorgándoles potencias características. De todas formas, Gassendi demuestra que se explica la teoría atómica por la existencia del vacío, cuya existencia acababa de ser demostrada de una manera elegante por el físico italiano Torricelli. Sin embargo, como Descartes, Gassendi establece una correlación entre las propiedades químicas de los cuerpos y la forma de los átomos que los constituyen. Admite también que los átomos se combinan entre sí para formar moléculas.

Con Newton (1642-1727) se va a considerar la posibilidad de una teoría atómica de la óptica. Tal vez fue una suerte para el joven Isaac tener una madre viuda: este hecho lo dejó estudiar según su gusto, y a los 23 años ya había hecho sus mayores descubrimientos en matemáticas, en particular el del cálculo infinitesimal. Sus teorías ópticas, desarrolladas en su mayoría en un curso de óptica que impartió en Cambridge hasta 1695, se encuentran en un tratado que publicó en el año 1704. En 1676 el astrónomo Roemer había notado que, cuando la tierra se encuentra entre el sol y Júpiter, los eclipses de los satélites de este último planeta toman de siete a ocho minutos para producirse. La luz tiene una distancia más grande que recorrer. Entonces este retraso demostraba que la velocidad de la luz no es infinita. No le fue posible a Newton hacer los experimentos que deseaba, y se contentó con plantear el problema de la naturaleza de la luz:

> ¿Es que los rayos de luz no son muy pequeños cuerpos emitidos por las sustancias brillantes? Porque tales cuerpos van a pasar a través de medios uniformes sin arquearse en la sombra, lo que es la naturaleza de los rayos de luz...

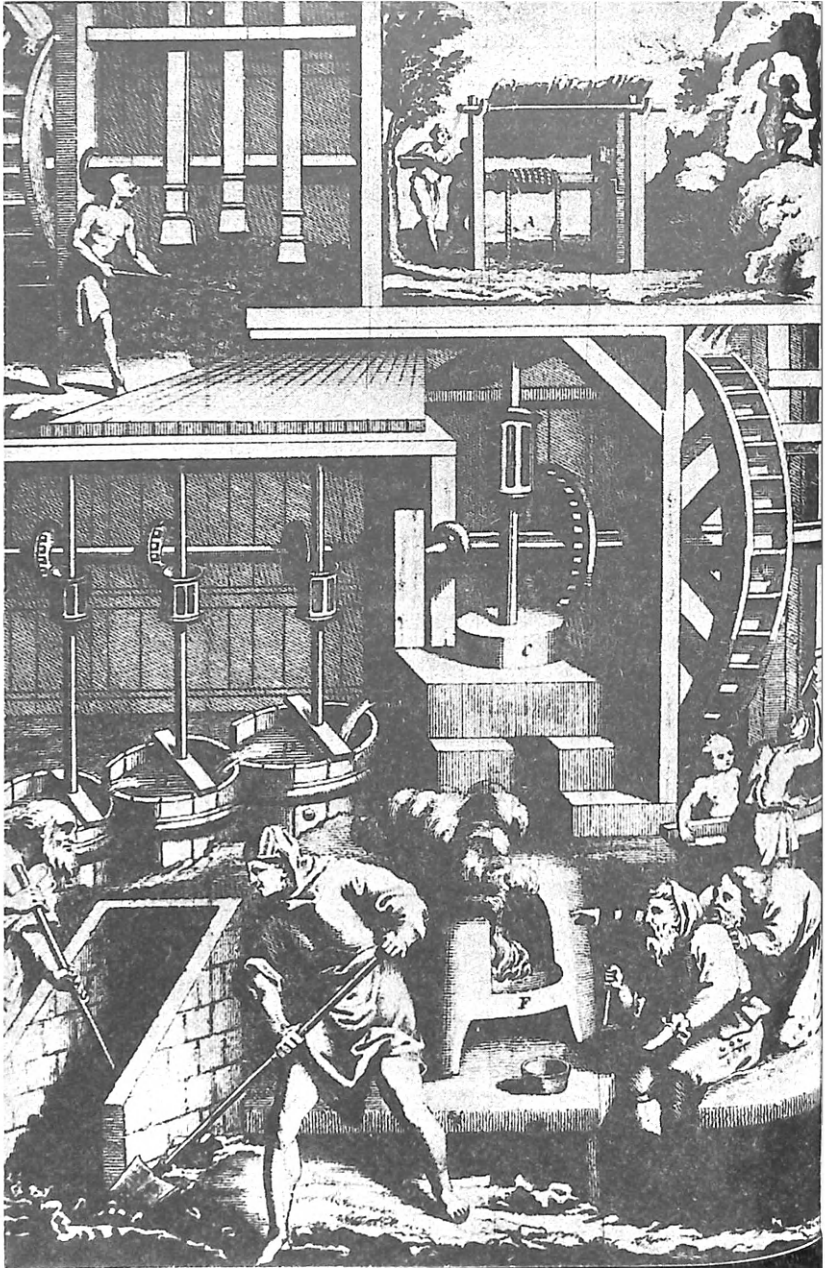
Muchos científicos no estuvieron conformes con este punto de vista, y las teorías de la emisión y la ondulatoria serán reconciliadas solamente en el siglo XX por la mecánica ondulatoria de Schrödinger-de Broglie.

Así, en esta edad de la razón, con Boyle y Mariotte la teoría atómica empieza a tener otros fundamentos que los metafísicos. Cuando habla Boyle de partículas es para explicar su ley de los gases ideales; cuando Newton considere la luz como un haz de pequeñas partículas que se propagan a gran velocidad es para explicar leyes físicas, como las de la refracción. Por el contrario, las ideas de los otros autores son un tanto vagas y, en última instancia, cada uno puede interpretarlas a su gusto. Por ejemplo las construcciones de Descartes, que, aun fantasiosas a veces, parecen relativamente precisas; sin embargo son extrañamente parecidas a ciertos textos anteriores de Galileo. Pero estos últimos, en donde algunos autores como Crombie han querido encontrar una teoría corpuscular de la materia, pueden igualmente describir una concepción mágica en la cual el microcosmos es similar al macrocosmos. Por lo tanto parece recomendable tener gran prudencia en el análisis de tales textos. Y, por cierto, Galileo mismo había afirmado:

> ...de esta sensación y de lo que se relaciona con ella no pretendo entender más que muy poco, y, como no dispongo de mucho tiempo para explicarla o, más exactamente, para esbozarla, me quedaré callado.

De cualquier modo, lo que debe ser muy obvio es que las concepciones mecánicas de Galileo empiezan a llegar a la madurez. Boyle y Newton, en especial, son descendientes directos del pisano. Hace falta notar además que el método científico, instituido por Galileo, va a ser desarrollado y estructurado según una metodología muy precisa: Francis Bacon publicará en 1620 su *Novum Organum,* donde expone varios métodos de investigación. Por otro lado, Robert Boyle hará en un trabajo no terminado, que se publicaría después de su muerte, la sumamente juiciosa distinción entre una

"buena hipótesis", que explica el número más grande de hechos sin contradicción, y una "hipótesis excelente", la que se muestra como la única buena. En fin, no debe olvidarse el *Discours de la méthode* (*Discurso del método*) de Descartes, quien enuncia las reglas según las cuales hay que conducir la mente si se desea ser lógico.


A
C
F

El gran cambio

> Todavía forman los químicos un pueblo distinto, muy poco numeroso, con su idioma, sus leyes, sus misterios, y que vive casi aislado dentro de una gran población que no se muestra muy curiosa de su comercio y que no espera casi nada de su industria.
>
> Diderot, 1753

Se caracterizan las tres primeras cuartas partes del siglo XVIII por una mezcla muy extraña de hipótesis osadas y de delirios absurdos, de experimentos interesantes y de deducciones muy dudosas. Es sin duda una época atormentada por contradicciones fundamentales. Pero en este siglo, *el siglo de las luces,* se produce un hito decisivo en la evolución de las teorías sobre la constitución de la materia, especialmente cuando empiece a hacerse hincapié en la importancia de la tecnología y de la ciencia.

Pero aparentemente todo empieza con un retroceso. Durante el siglo anterior, Boyle había definido las especies químicas como compuestos de unidades separadas y propuesto explicaciones de tipo atómico a gran número de fenómenos físicos. En su tiempo nadie lo entiende. Así, en 1712 un profesor de la Universidad de Oxford, John Freind, reprocha a Boyle el haber destruido teorías antiguas *sin haber propuesto nada original para sustituirlas.*

Por una temporada son las concepciones de Becher las que se imponen a la atención del mundo científico. Esto se debe en parte a Georg Ernest Stahl. Originario de Anspach,

El gran cambio. Portada de la edición francesa de 1733 del libro de Barba *El arte de los metales.* (DE.)

Stahl fue cofundador de la teoría del flogisto, y es autor del *Fundamenta Chymiæ Dogmaticae et Experimentalis.* Distinguió entre el potasio y la sosa e hizo estudios sobre el aluminio. (DE.)

en donde nació en 1660, consiguió en 1684 el grado de doctor en medicina en la Universidad de Viena y recibió el nombramiento de médico del rey de Prusia. Había reeditado en 1703 la *Physica subterranea,* transformándola profundamente. Stahl atribuye ahora máxima importancia al *principio inflamable* de Becher, y le da el famoso nombre de *flogisto.* Durante toda su vida (murió en 1734) se transformó en el campeón del flogisto, al que considera que debe estar presente en todos los cuerpos combustibles y, además, que según esta teoría, la cantidad de flogisto que contiene un cuerpo es esencialmente variable: son muy ricos en flogisto el azufre y la zaragalla, que, al quemarse, dejan un residuo poco apreciable o no dejan ninguno. Al contrario, los cuerpos cuya combustión deja un residuo importante contienen poco flogisto.

La aplicación de esta teoría a los metales va a renovar

completamente el problema de su calcinación, problema que siempre había sido un rompecabezas para los químicos. Igual que Robert Hooke en el siglo pasado, Stahl asimila la calcinación de los metales (es decir la operación que consiste en calentarlos a muy alta temperatura) a una combustión. Al ser calcinado, un metal pierde sus propiedades metálicas; por ejemplo desaparece su aspecto brillante y se transforma en lo que ahora llamamos un óxido. Pero, según las ideas de los antiguos químicos, lo que pasaba era que se formaba cal. La teoría de Stahl explica con mucha facilidad estas transformaciones: durante la calcinación los metales pierden el flogisto que contienen. Si se calienta la cal en presencia de un cuerpo muy rico en flogisto, aquella cal lo absorbe y se transforma en metal.

En la forma que le da Stahl, esta teoría queda bastante localizada en Europa, especialmente en Alemania. Será descrita en Francia solamente en 1742 por Rouelle en una serie de conferencias públicas que impartió en el Jardín del Rey,

Calcinación del antimonio: *a*, la mesa; *b*, la lente, que puede ser inclinada; *c*, la piedra, donde es puesto el antimonio preparado; *d*, el sujeto ajustando la lente y agitando el antimonio; *e*, la luz del sol enfocada a través de la lente. (DE.)

la institución que ahora se llama Museo de las Ciencias Naturales, y será solamente unos años más tarde que la teoría sea aceptada plenamente en Francia e Inglaterra.

En este tiempo se propagaban las teorías de Becher, asimilándose parcialmente, de paso, unas teorías más antiguas. Se puede constatar muy bien en el caso de Wilhelm Homberg, que nació en Batavia en 1652. Cuando murió su padre, marchó a Amsterdam, y más tarde estudió derecho en Jena y Leipzig antes de establecerse como abogado en Magdeburgo. Pero allí el licenciado se dedicó a la investigación científica, disponiéndose a viajar de nuevo. Visitó Italia, Francia e Inglaterra. En el intervalo había presentado sus exámenes de doctor en medicina y tomó la decisión de fijar su residencia en Holanda, pero Colbert fue capaz de atraerlo a Francia, donde permaneció hasta su muerte, en 1777. Era muy estimado por la comunidad científica, a tal punto que Fontenelle, conocido autor de un tratado sobre la *Pluralidad de los mundos habitados* y secretario perpetuo de la Academia de las Ciencias, escribió su elogio fúnebre. Lo curioso en el caso de Homberg es que su posición intelectual pertenece a varias épocas. Es el mismo hombre que a la vez adoptó las posiciones aristotélicas sobre la materia, que trabajó con Boyle y que también consideraba que el flogisto era el azufre.

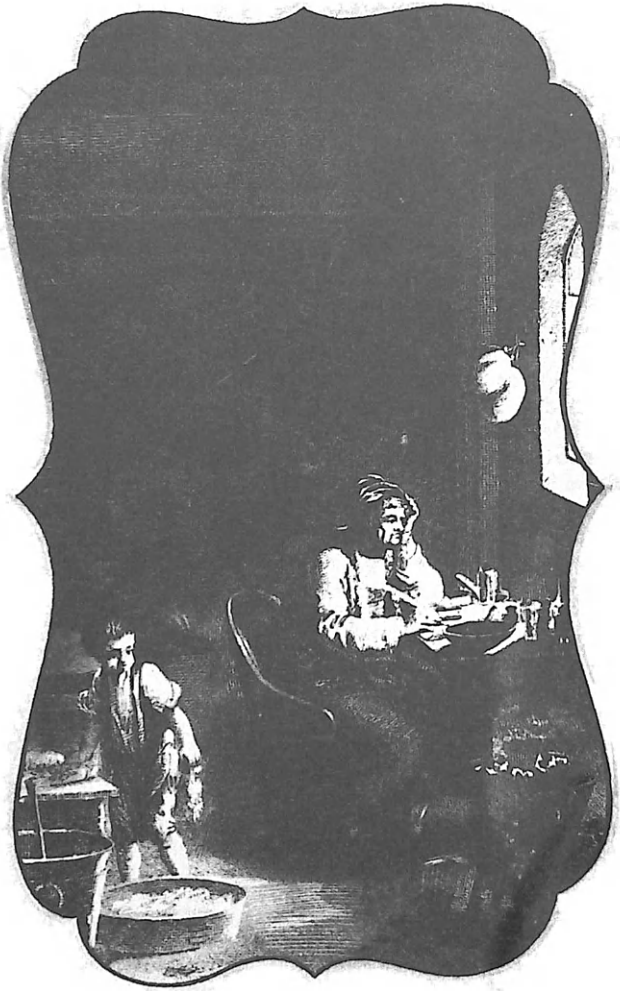
En la misma línea se encuentra Johann Heinrich Pott, quien nació en Halberstadt en 1692. Su familia lo destinaba a la carrera eclesiástica, pero al fin optó por la medicina. Se dedicó a la enseñanza de la química hasta su muerte, ocurrida en Berlín en 1771. Publicó en 1741 una disertación sobre la sal sedativa de Homberg, lo que llamamos ahora ácido bórico. Este trabajo se presenta como una colección muy peculiar: es verdad que el autor habla de partículas, pero también admite que el flogisto es una variedad del azufre.

Sin embargo, a pesar del gran número de adeptos que la teoría del flogisto va a conquistar, ésta no podrá subsistir mucho tiempo en su primera forma. Esto se debe esencialmente al hecho, establecido desde hacía ya mucho tiempo,

de que un metal aumenta de peso cuando uno lo calcina (en el caso del plomo el aumento es del orden del 10%). En estas condiciones se volvía bastante difícil concebir y explicar cómo la desaparición de un elemento, o sea el flogisto, producía un aumento de peso. Entonces florecieron muchas hipótesis, algunas de ellas bastante extravagantes, que llegaban al punto de proponer que, mientras el metal estaba sometido a las leyes de la gravitación, el flogisto lo estaba a las de la levitación. En otras palabras, el *principio inflamable* tenía un peso negativo.

Pero existe algo enriquecedor de todas estas discusiones, porque enfocaron la atención de la comunidad científica sobre el aire y los fenómenos de calcinación. Pierre-Joseph Macquer (1718-1784), quien fue el primer autor de un diccionario de química (*Dictionnaire de Chymie*, 1766) –mismo que además presentaba la particularidad de ser un tratado de química pura, sin referencia ninguna a aplicaciones farmacéuticas o medicinales–, expuso muy claramente la situación:

> Se atribuye en química el nombre de elementos a los cuerpos que son de una tal simplicidad que todos los esfuerzos del arte son insuficientes para descomponerlos, y aun para provocar cualquier especie de alteración en ellos; y que, por otra parte, entran como principios o partes constitutivas en las combinaciones de los otros cuerpos, que uno llama por esta razón cuerpos compuestos. Los cuerpos a los cuales se ha reconocido esta simplicidad son el fuego, el aire, el agua y la tierra, la más pura; porque, en efecto, los análisis más completos y más exactos que ha sido posible hacer hasta ahora nunca han producido otra cosa, en última instancia, que unas u otras de estas cuatro sustancias, o todas las cuatro según la naturaleza de los cuerpos que fueron descompuestos. Es muy posible que estas sustancias, aunque tenidas por simples, no lo sean, que sean aún más compuestas y que resulten de la unión de varias otras sustancias más simples. Pero como la experimentación no enseña absolutamente nada sobre esto, se puede, sin ningún inconveniente, se debe incluso considerar en química al fuego, al aire, al agua y a la tierra como cuerpos simples; porque, en efecto, actúan como tales en todas las operaciones de este arte.



Sin embargo es sorprendente encontrar que todavía Macquer considera al aire como un elemento, dado que ya en el siglo XVII van Helmont había sospechado que era una mezcla de varios gases diferentes. Aparte, un trabajo sumamente importante del físico y químico inglés Joseph Black, publicado en latín en 1754 y después en inglés en 1756, demostró la existencia de un gas diferente del aire común y que el autor designaba con el nombre de "aire fijado"; Black reconocía también que es posible pesar un gas y que la masa permanece constante durante toda transformación química.

Al profundizar en estos dos últimos puntos, Lavoisier obtendrá considerable fama. Hay que hacer notar que, como lo demuestra ampliamente el contenido de sus apuntes personales y de sus publicaciones, el químico francés estaba bien enterado de los trabajos de sus predecesores. En efecto, tres grandes personalidades ocupan la escena química de esta época: Cavendish, Priestley y Lavoisier. Gracias al valioso trabajo de estos científicos va a desplomarse la antigua teoría de los cuatro elementos.

Es probablemente Henry Cavendish la figura más fabulosa del mundo científico de entonces. Nació el 10 de octubre de 1731, en Niza, Francia, de una antigua familia de la nobleza que era increíblemente rica. No se encuentra nada notable en su vida personal; se dedicó íntegramente a la ciencia. Muy tímido y misógino, vivió recluido hasta su muerte, en 1810. Su única pasión, al parecer, fue la investigación científica. Al mismo tiempo físico y químico, puso su primer laboratorio en la caballeriza de su padre, y allí realizó muchos experimentos, en particular sobre electricidad. Aisla el hidrógeno, lo que él considera ser el famoso flogisto, y estudia la influencia de la chispa eléctrica sobre este gas. Fue en enero de 1784 que leyó, ante la Royal Society, su prestigiosa memoria titulada *Experiments on Air* (*Experimentos sobre el aire*), en la cual, sin duda, fundamenta la química moderna. En particular enunciaba que "el agua consiste de aire desflo-

← Portada de la traducción al alemán de 1788 del *Dictionnaire de Chymie*, de Macquer. (DE.)

Cavendish fue el primero en distinguir el hidrógeno de los demás gases y fue un descubridor independiente del nitrógeno. (DE.)

gistizado unido al flogisto"; es decir, en un lenguaje más moderno, que el agua consiste en gas oxígeno unido al gas hidrógeno. Además Cavendish había realizado, no sólo el análisis del agua, sino también su síntesis. Y, en la misma época, Watt y Lavoisier llegaban a las mismas conclusiones.

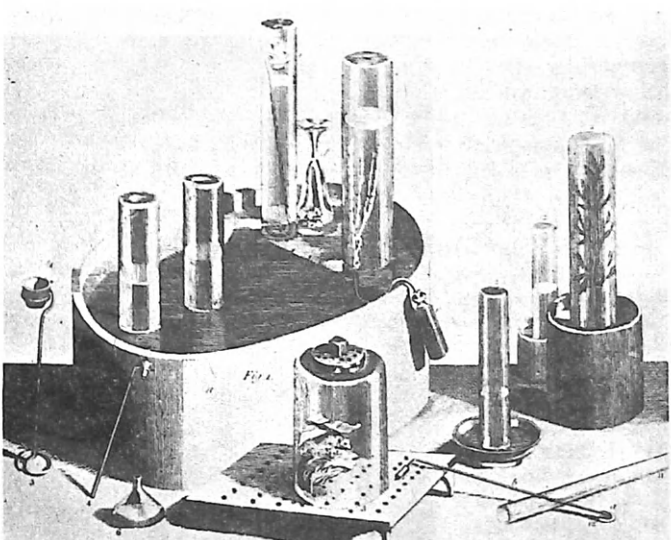
Se dice que la sumamente brillante carrera científica de Priestley se debe al azar, a la casualidad. Joseph Priestley nació en 1773 en Fieldhead, en los alrededores de Leeds, Inglaterra. Su familia lo había destinado a la vida eclesiástica, más precisamente a la rama calvinista; pero fue rechazado a causa de sus opiniones teológicas. Después de su nombramiento como pastor en otra secta, se dedicó a la enseñanza de los idiomas. Y, un día, encontró a Franklin.

Hacia 1776, Priestley marchó a Leeds para solventar cierto asunto eclesiástico; en esta ocasión conoció a Benjamín Franklin, el inventor norteamericano ya famoso por sus

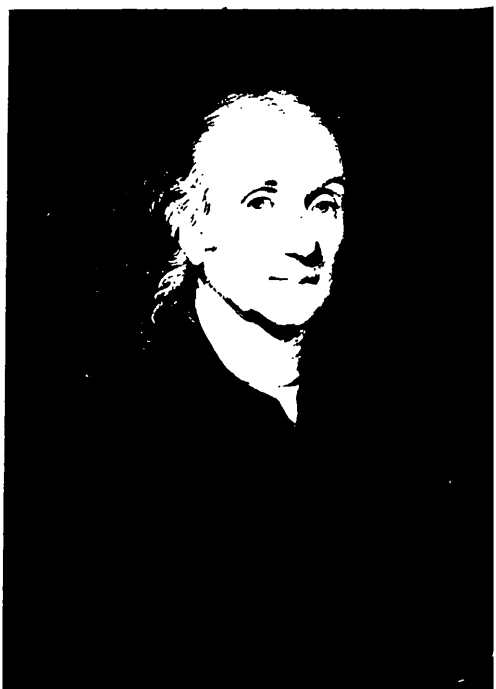
trabajos sobre la centella. Así encontró el pastor su verdadera vocación, y de inmediato empezó a dedicar su tiempo a la investigación científica. Pronto encontró y aisló el *aire fijado*, o sea lo que llamamos ahora el gas carbónico. Para premiar el descubrimiento, la Royal Society, siempre lista para estimular los talentos nuevos, le otorgó su medalla de oro. Poco más tarde, en una fecha histórica, el 1°. de agosto de 1774, Priestley descubrió otro gas: el oxígeno. Se ha dicho —con mucha razón— que el descubrimiento del oxígeno es una de las piedras angulares de la química moderna. Pero el sabio no se conformó con esto, y hasta su muerte, en 1804, seguirá contribuyendo Priestley a la edificación de la ciencia.

Una cosa es clara, y es que esta época es una de

Ilustración de *Experiments and Observations on Different Kinds of Air*, 1774, de Joseph Priestley. (DE.)



Daniel Rutherford fue el descubridor del nitrógeno. Abordó las ramas de la química, la física y la botánica. (DE.)



Joseph Priestley encontró y aisló el *aire fijado*, lo que hoy se llama gas carbónico. (DE.)

descubridores de gas: Rutherford, en Inglaterra, preparará el nitrógeno poco después de 1772, y también Scheele, en Suecia, descubrirá el oxígeno en 1775, independientemente de Priestley. Se notará, por otro lado, que Cavendish y Priestley utilizan la palabra *aire* donde nosotros empleamos la palabra *gas*. Es probable que esta terminología refleje la opinión de la época: los gases no eran otra cosa que aire modificado. Allí se pueden encontrar las secuelas de la teoría de los cuatro elementos, que a lo largo de su evolución nunca se mostró capaz de disociar la noción de elemento de la de principio, de forma.

En eso precisamente se va a manifestar el genio de Lavoisier. Antoine-Laurent de Lavoisier nació el 26 de agosto de 1743 en el callejón Pacquet, cercano al actual edificio de los Archivos Nacionales de París. No se sabe prácticamente nada de su infancia, pero es cierto que estudió química bajo la dirección de Rouelle. Su trabajo de recaudador de impuestos le dejaba mucho tiempo libre, permitiéndole instalar su propio laboratorio. De allí saldrá un flujo constante de descubrimientos fundamentales en química pura y química fisiológica. Hace falta notar que la historia ha conservado con emoción la memoria de su esposa, quien le ayudó siempre en sus trabajos y que actuaba en particular como su secretaria. En esto tiene un sitio muy honorable en toda una línea de mujeres que, indirecta pero decididamente, han contribuido al desarrollo de la ciencia.

No se puede dudar que Lavoisier estaba muy consciente de la importancia del trabajo que iba a emprender, porque anotó el 20 de febrero de 1773 en el cuaderno del laboratorio:

> Antes de iniciar la larga sucesión de experimentos que me propongo hacer sobre el fluido elástico que se desliga de los cuerpos, sea por fermentación, sea por destilación, sea al fin por las combinaciones de toda clase, así como [sobre] el aire absorbido en la combustión de un gran número de sustancias, creo que tengo que poner aquí por escrito algunas reflexiones, a fin de formar, para mí mismo, el plan que tengo que seguir.
>
> Serán desarrolladas en toda su extensión estas diferencias,

> cuanto yo exponga de todo lo que ha sido hecho acerca del aire que se desliga de los cuerpos y que se fija a los dichos. La importancia del objeto me impulsó a atacar de nuevo todo este trabajo, que me ha parecido capaz de ocasionar una revolución en la física y en la química...

Es Lavoisier un adversario decidido de la teoría del flogisto. En fecha tan temprana como 1774, publica sus *Opuscules Physiques et Chimiques* (*Opúsculos físicos y químicos*), donde demuestra que las conclusiones a que había llegado Sthal se encuentran en contradicción con lo demostrado mediante la experimentación. El mismo año llega Priestley a París y enseña a su colega la preparación en el laboratorio del aire desflogistizado, o sea del oxígeno. Cuando Lavoisier es capaz de preparar fácilmente y en cantidades considerables esta sustancia, realiza gran número de experimentos que debilitan y, al fin, destruyen la teoría flogística. La Europa científica sigue el asunto con pasión, y poco a poco los grandes químicos se adhieren a las ideas del arrendatario general químico. Por desgracia sus méritos no le servirán de ninguna protección, no salvando su vida a la hora de la gran revolución francesa. Con sus colegas recaudadores de impuestos tendrá que subir al carro que conducía a los condenados a la guillotina. Se dice que solicitó una moratoria para poder terminar unos experimentos muy importantes que acababa de empezar cuando lo encarcelaron. Al negar la petición Fouquier-Tinville, el acusador público, le contestó que "la república no necesita sabios". Sin embargo, esta *frase histórica* es de autenticidad dudosa.

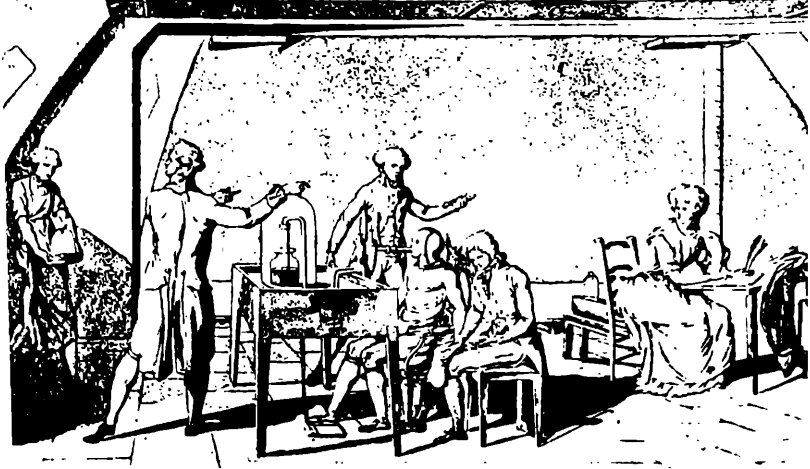
Lo que caracteriza al trabajo experimental de Lavoisier es, en primer lugar —y en eso sigue a Al Jabir—, el uso sistemático de la balanza, instrumento que le permite demostrar de una manera brillante e indiscutible que la masa se conserva durante las reacciones químicas.

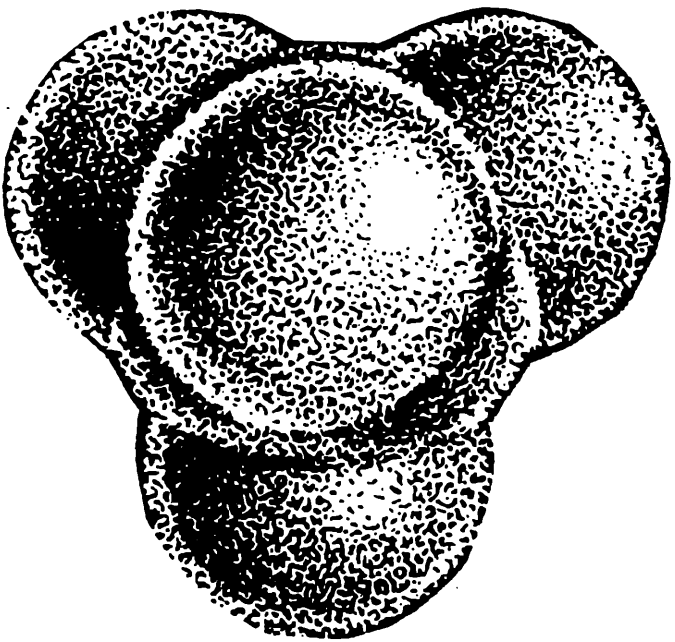
Se apoderó la leyenda de Lavoisier, pero tal vez sin rendirle justicia. Es muy célebre —y lo considera la leyenda como su contribución máxima al desarrollo de la ciencia química— el análisis cuantitativo del agua que realizó en 1783, en colaboración con el ilustre físico y matemático

Laplace. Pero es definitivamente en sus estudios **sobre la** constitución de la materia donde resplandece su genio. Arruina completamente la teoría de los cuatro elementos, y todas las teorías anexas que se deducen de aquélla, al demostrar, por ejemplo, que el agua no puede convertirse en tierra. Precisa algunas reacciones de carácter general y presenta el concepto de estado de la materia al sospechar que la temperatura y la presión son los factores que determinan el estado –sólido, líquido o gaseoso– de un cuerpo.

También tiene Lavoisier una visión bastante clara de las especies químicas y es el creador de una nueva nomenclatura para los gases. Es así que bautiza como *oxígeno* al antiguo aire desflogistizado. Hay más aquí que la cuestión de colocar una etiqueta. La nueva nomenclatura química que Lavoisier propone, y que será puesta al punto por químicos como Guyton de Morveau, Berthollet y Vauquelin, refleja un nuevo concepto acerca de los constituyentes de la materia. Murieron para siempre los cuatro elementos, naciendo las especies químicas. Pero los átomos permanecen en el olvido.

Lavoisier en su laboratorio, experimentando sobre la respiración de un hombre que realiza un esfuerzo físico. Este dibujo fue hecho por la esposa del científico, la cual aparece representada en el extremo derecho de la ilustración, preparando anotaciones sobre el experimento. (DE.)





Atomos y moléculas. Distribución de los átomos en una molécula de metano. Ilustración tomada de Clemente Juárez y Carlos Rochín, *Química...*; en adelante citado como (Q).

Atomos y moléculas

Hay probablemente más que una coincidencia en el hecho de que la revolución francesa marca "el fin del gran cambio". Inició un período de racionalización que se manifiesta, por ejemplo en lo que concierne a la física, en la creación del sistema métrico, que, al proporcionar un modo de expresión común (excepto para Inglaterra y los países de influencia inglesa), facilita la comunicación entre los científicos. Por otra parte, la Convención había puesto el acento sobre la enseñanza técnica. Cuando se inicie el siglo XIX se podrá notar un reconocimiento progresivo del carácter social de la ciencia.

Este nuevo período va a ser definitivamente el de las investigaciones cuantitativas. Tomando como base los trabajos de Priestley, de Lavoisier y otros químicos y físicos, van a poder penetrar más adelante en el estudio de la materia. Pero, antes, es necesario hacer notar a dos precursores.

Jeremías Benjamín Richter (1762-1807) estudió en especial las proporciones de ácidos y de bases que se combinan al neutralizarse. Desgraciadamente sus resultados, que publicó en 1792, fueron apreciados solamente mucho más tarde. Resultó más apreciado por sus contemporáneos Joséphe-Louis Proust, quien nació en Angers en 1775 y murió en 1826. Alcanzó el puesto de jefe boticario del hospital de La Salpêtrière, de París. El rey de España supo atraerle, y Proust creó un magnífico laboratorio en Madrid, que será destruido completamente, poco tiempo después, por las tropas francesas. ¿Qué hubiera podido salir de este laboratorio? Uno no puede evitar la pregunta al constatar que Proust fue el primero, en el año 1799, en demostrar que los cuerpos se combinan en un pequeño número de relaciones definidas.

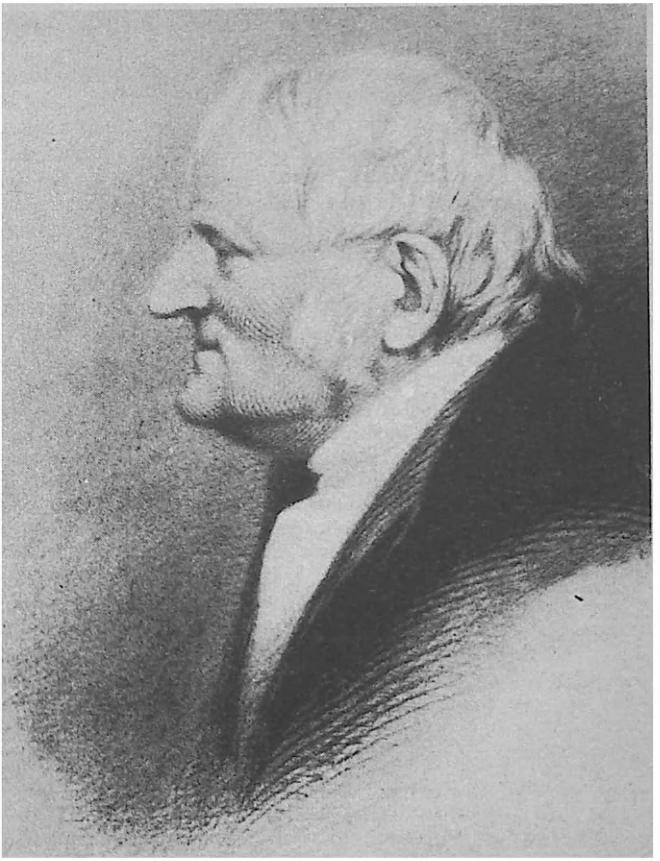
Y en esto se encontraba todos los gérmenes de la química molecular.

Pero es a John Dalton a quien tocó el honor de introducir de nuevo, y a partir de bases experimentales, el concepto de átomos en el pensamiento contemporáneo. Muchos científicos envidiarían su vida —al menos algunos episodios—. Nació en 1776 en Enfield, Cumberland, Inglaterra, en el seno de una familia cuáquera. Enseñó matemáticas en Oxford y en York. Desde 1833 el gobierno inglés había reconocido sus méritos y lo pensionó. Murió en Manchester, en 1844.

Antes que todo, Dalton era un físico, y se dedicó en especial al estudio de las propiedades de los gases. En 1801 demostró sin ninguna ambigüedad que estas propiedades se explicaban dentro del marco de una teoría de partículas. Considerando entonces que estaba bien establecida la existencia de los átomos, encauzó sus trabajos hacia la química, demostrando que una combinación química puede ser descrita como la combinación de partículas bien individualizadas, cada una de ellas con un peso característico del elemento correspondiente. Así, tomando de nuevo el ejemplo del agua, se le atribuía una masa igual a uno para la partícula elemental —o átomo— de hidrógeno; había que atribuir al átomo de oxígeno una masa igual a ocho. Por lo tanto, el problema fundamental se transforma en el problema de la determinación de estas masas relativas. En su libro *New Systems of Chemical Philosophy* (*Nuevos sistemas de filosofía química*), publicado en Cambridge en el año 1808, Dalton expone muy claramente su objetivo final:

> Ahora el gran objeto de este trabajo es hacer ver la importancia y la ventaja de determinar los pesos relativos de las partículas últimas, a la vez de los cuerpos simples y de los cuerpos compuestos, el número de partículas elementales simples que constituyen una partícula compuesta y el número de partículas menos compuestas que entran en la formación de una partícula más compuesta.

Infortunadamente los pesos relativos que indicó Dalton no eran muy exactos; sin embargo, ésta sería una crítica menor



En su *New Systems of Chemical Philosophy,* John Dalton muestra cómo su teoría atómica puede ser utilizada para explicar las leyes que rigen a las combinaciones químicas. (DE.)

respecto al incomparable valor de su obra, que muy pronto va a ser perfeccionada por el sueco Berzelius.

Jons Jacob Berzelius nació en 1779, en Välvoersunda Sogard, cerca de Linkoeping. Su padre era maestro de escuela primaria. El hijo hizo rápidamente una brillante carrera; en 1804 fue nombrado profesor de medicina de la Universidad de Estocolmo. Renunció a su cátedra en 1832 para poder dedicarse de tiempo completo a la investigación científica. Tenido por el máximo analista del siglo, cubierto de honores y dignidades por varios países europeos, no había disminuido su fama cuando falleció, en 1844.

Muy joven dedicó sus esfuerzos al problema de la determinación experimental de los pesos relativos. Berzelius relató su papel en el desarrollo de esta nueva rama de la ciencia:

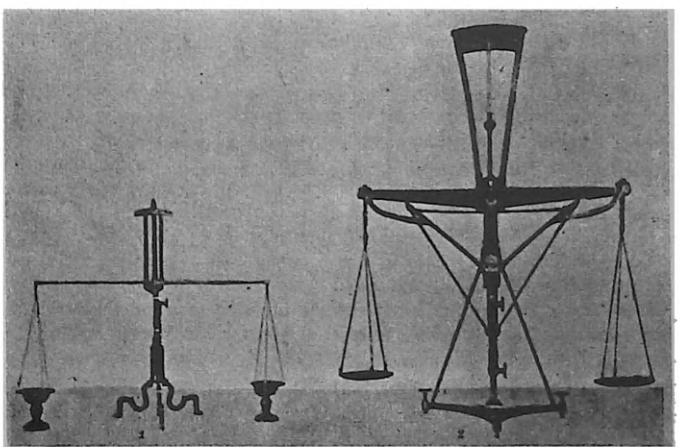
> Nuevos experimentos me convencieron de que los números de Dalton necesitan esta precisión que era fundamental para la aplicación de su teoría. Percibí entonces que, si la luz que se había levantado sobre toda la ciencia debía ser propagada, los pesos atómicos de un número de elementos, tan grande como fuera posible y sobre todo de los más comunes, debían ser determinados con la máxima precisión que era posible alcanzar. . .

Era un programa gigantesco, que Berzelius supo cumplir. En su tratado de 1814 indicó los valores numéricos correspondientes a más de 2 mil cuerpos. Además las mediciones tan precisas que hizo en esta ocasión le condujeron a descubrir nuevos elementos, tales como el cerio. Es necesario señalar también que fue Berzelius quien introdujo en química el sistema de notación que se emplea actualmente, sistema en el cual letras simbolizan, al mismo tiempo, un elemento y su peso relativo. Por ejemplo, si H representa una unidad de hidrógeno, 0 representa una unidad de oxígeno, y así sucesivamente.

Es probablemente con Berzelius que se realiza por primera vez un enlace —aunque bastante imperfecto— entre la teoría atómica y la teoría de la electricidad. El químico sueco, que es con el físico inglés Davy uno de los fundadores de la

Daguerrotipo de Berzelius tomado en Berlín en 1845, tres días antes de su muerte. (DE.)

Balanzas utilizadas por Berzelius. (DE.)

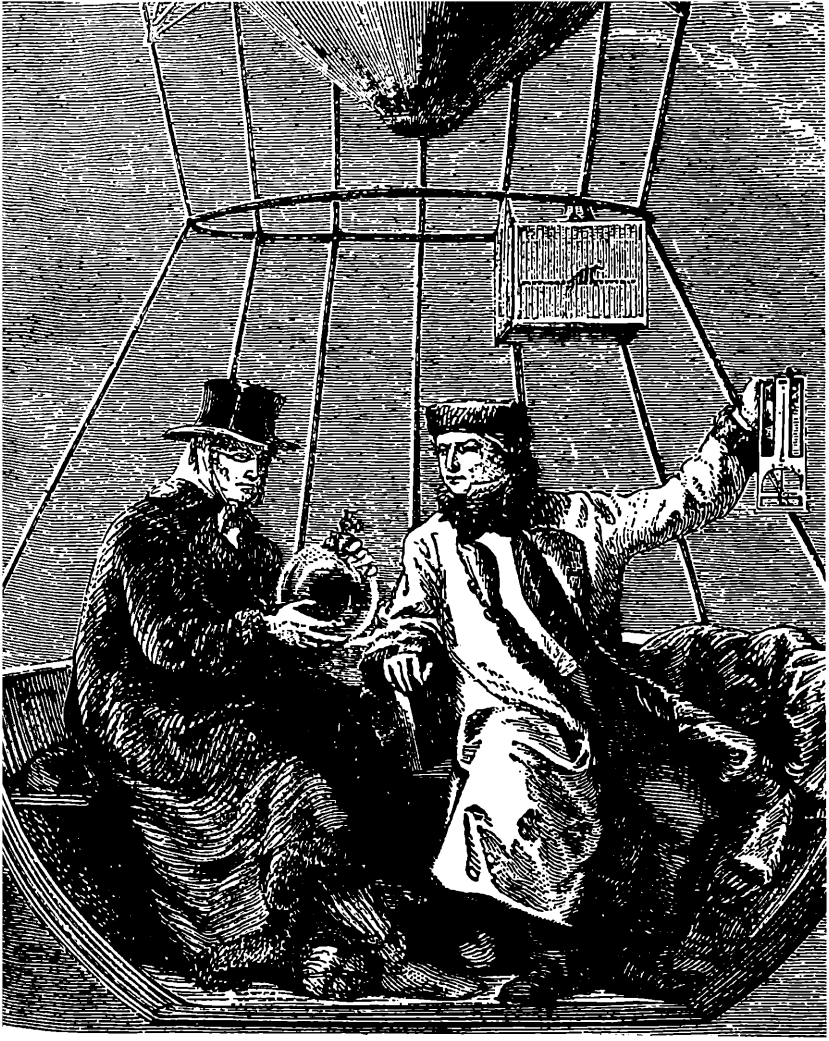


electroquímica, presintió la existencia de una relación estrecha entre la polaridad eléctrica y la afinidad química. En estas condiciones resultaba muy tentador atribuir a cada compuesto químico la estructura de una reunión de átomos portadores de electricidad, sea positiva, sea negativa. El problema, extremadamente complejo, será solucionado sólo muy posteriormente.

Toda una serie de trabajos, a veces muy brillantes, se publican entonces en Europa. En lo que se relaciona a la teoría atómica hace falta mencionar, en primer lugar, los estudios de Gay-Lussac. Fue una vida muy peculiar, muy compleja, la de Gay-Lussac. Nicolás François nació en 1778 en Saint-Léonard, un pueblito de la Haute-Vienne. Algunas de sus investigaciones científicas fueron venturosas, y peligrosas; por ejemplo se interesaba por la meteorología, y por lo tanto hizo ascensiones en globo. Ciertas investigaciones tuvieron resultados casi dramáticos, como la que lo llevó a elevarse a 7 mil metros de altitud, misma que le dio fama. Aparte de su dedicación a la ciencia demostró un vivo interés por la política, siendo elegido diputado en 1831 y nombrado par de Francia en 1839. Falleció en 1850.

Se volvió rápidamente un especialista en el estudio de los gases y observó que se combinan siempre según volúmenes que se encuentran en una relación *sencilla* entre sí. Abundando en la materia, demostró que la relación entre la densidad de dos gases es igual a la que existe entre sus pesos equivalentes (o múltiples de ellos). Gay-Lussac presintió que allí se encontraba una comprobación fundamental de la teoría atómica de Dalton, pero no fue capaz de demostrarlo, y por eso se limitó a enunciar la ley experimental.

Al fin vino el famoso Avogadro: Amadeo Avogadro, conde de Quaregna, nacido en Turín el 9 de junio de 1776. Obtuvo la cátedra de física en la Universidad de Turín y en este puesto realizó sus trabajos más notables, y donde debía fallecer el 9 de julio de 1856. Su genio se manifestó al enseñar cómo de los primeros resultados de Gay-Lussac se podía deducir que volúmenes iguales de gas (a la misma temperatura y a la misma presión) tienen que contener el

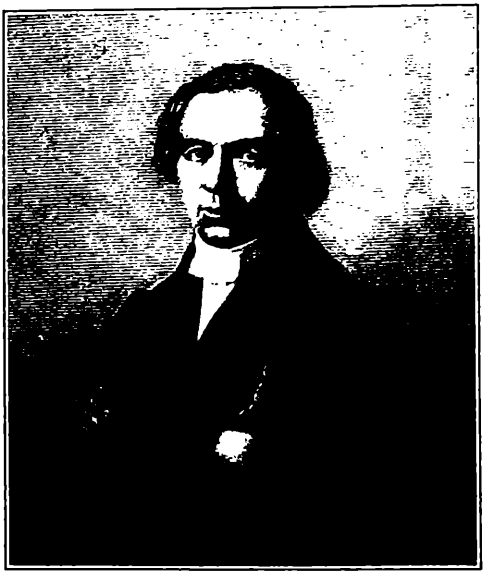


Gay-Lussac, representado a la izquierda del grabado, y Biot en una ascención en globo. Gay-Lussac tenía en este tiempo 25 años. (DE.)

mismo número de pequeñas partículas. Por lo tanto, el peso de éstas es proporcional a la densidad de vapor, lo que explica de manera sumamente brillante la segunda ley de Gay-Lussac. Es curioso, a este propósito, hacer notar que Avogadro no usaba el término átomo sino que empleaba las expresiones *moléculas integrantes* (moléculas en la terminología moderna) y *moléculas elementales* (o sea átomos). Extendió también su teoría a los sólidos pero sin proporcionar pruebas nuevas, lo que explica que muchos científicos del tiempo permanecieran escépticos. El mismo Dalton no estaba convencido de la realidad de los resultados de Gay-Lussac y, a lo que parece, opinaba que eran incorrectos. En el fondo el único científico que se mostró capaz de utilizar el trabajo del físico francés fue Berzelius, quien construyó una *teoría del volumen* que aplicó a la determinación de los pesos atómicos. Como lo indica su nombre, esta teoría ponía el acento en las relaciones entre volúmenes en las combinaciones de los gases entre sí. Pero más tarde Berzelius volverá a una teoría corpuscular, del tipo de la de Dalton.

Sin embargo no todo el mundo estaba preparado para aceptar el cambio radical que pedía —e implicaba— la teoría atómica. Así Dumas declaraba en alta voz, en 1840, que, si él tuviera el poder de hacerlo, proscribiría el nombre átomo. Y Dumas era un químico muy notable. ¿Qué se le reprochaba a la teoría atómica? En primer lugar, ser demasiado teórica; además, atribuir demasiado peso a la química analítica; y, finalmente, mostrarse incapaz de explicar lo que eran las *fuerzas químicas*, la *afinidad*. Hace falta reconocer que, durante un tiempo, la marcha de la teoría química fue estorbada por una terminología poco clara.

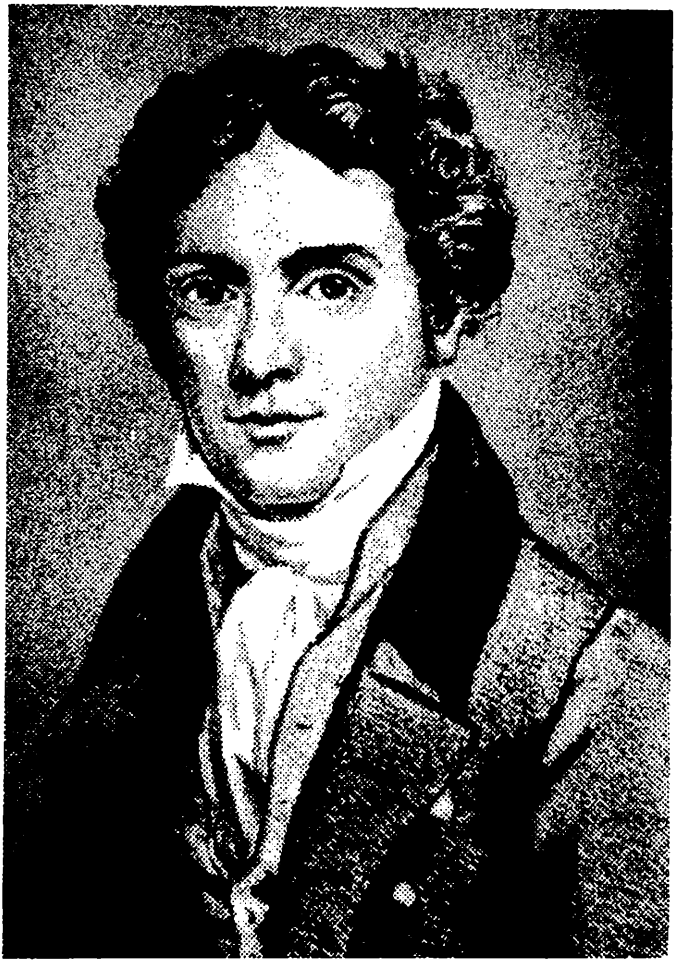
Pero algunos trabajos de física, encaminados en otras direcciones, procuraron en ocasiones apoyo a la teoría atómica. Tal es el caso de los experimentos de Dulong y Petit, que demostraron que el calor específico de un cuerpo es, en primera aproximación, inversamente proporcional a su peso atómico. También la cristalografía ayudó. Hacia 1818-1819, Mitscherlich comprobó que los cuerpos isomorfos, o sea los cuerpos cuyos cristales tienen la misma forma,



Dumas, entre otras aportaciones, encontró un método para determinar la densidad del vapor. Se opuso resueltamente a la teoría atómica. (DE.)

poseen composiciones químicas análogas. Rápidamente se convenció que la sola explicación posible de este hecho era que los cuerpos isomorfos poseían el mismo número de partículas elementales (átomos), dispuestas de la misma manera, y que también tenían naturalezas químicas análogas.

De cualquier modo, el mayor físico de la época, Michael Faraday, es resueltamente atomista. Y qué vida emocionante la suya. Nació el 22 de septiembre de 1791 en Newington, Surrey, Inglaterra. Debió exclusivamente a su valor y a su trabajo su ascenso hacia las cimas del mundo académico. ¿Podía imaginar el joven, que a los trece años empezaba su aprendizaje de encuadernador, que doce años más tarde, en enero de 1815, afirmaría en su primera conferencia: "Parece que la conclusión que ahora es generalmente aceptada es que la luz está compuesta por pequeños átomos de materia en



Michael Faraday fue resueltamente un atomista.

forma de octaedro, que poseen una velocidad y cambian de forma y de velocidad? "

¿Qué había pasado? : dejó pronto la encuadernación de libros para entrar al servicio de Davy; trabajará en calidad de camarero en la casa y de mozo en el laboratorio. Pronto mostrará su genio y se le proporcionarán facilidades para que desarrolle su propio trabajo. Esto culminó en el descubrimiento de la inducción eléctrica. No hay duda que antes de su muerte (el 25 de agosto de 1887, en Hampton Court) había dejado su huella en la época que le tocó vivir.

Regresando al asunto de los átomos octaédricos hay que aclarar que más tarde, hacia 1833, Faraday, al desarrollar mayor rigor científico, declaró tener miedo de emplear términos y palabras cuya significación no estaba enteramente precisada: "tengo que confesar que me desconfío del término *átomo* porque, aunque sea muy fácil hablar de átomos, es muy difícil hacerse una idea clara de su naturaleza". Indica, de manera sumamente precisa, las relaciones que tienen que existir entre la materia, tal como estaba concebida entonces, y la electricidad.

> Aunque no sepamos nada de lo que es un átomo, no podemos evitar formarnos alguna idea de una pequeña partícula que se nos representa en la imaginación; y aunque nuestra ignorancia de la electricidad sea al menos igual, porque somos incapaces de decir si ella es una materia, o varias, o simplemente un movimiento de la materia común, o más bien un tercer género de potencia o de agente, sin embargo existe un número inmenso de hechos que nos autorizan a pensar que los átomos de materia están en cierta manera dotados de potencias eléctricas, o están asociados con estas potencias, a las que están obligados por sus cualidades más notables, en especial por sus afinidades mutuas.[1]

Por cierto que todas las investigaciones de Faraday sobre la electricidad se encuentran impregnadas por este punto de vista particular; toda su vida estuvo obsesionado –no es

1 Citado por Edmond Bauer, *L'électromagnétisme hier et aujourd'hui*, Albin Michel, París, 1949.

demasiado fuerte la palabra– por la búsqueda de una interpretación de los fenómenos eléctricos como ligados a fenómenos de tensiones (*el estado electrónico*)[2] que se producirían en el interior de la materia a lo largo de hileras de átomos o de moléculas.

Por otro lado, la teoría átomica va a dar un nuevo avance, y otra vez gracias a los gases. Hasta ahora era de las propiedades de los gases que se había deducido la existencia de partículas discretas, átomos o moléculas. Pero es obvio que será posible considerar que la existencia de estas partículas haya sido definitivamente demostrada si –y solamente si–, al empezar con la hipótesis de la existencia de ellas, uno pudiera encontrar las propiedades físicas de los gases. Esta teoría, conocida con el nombre de *teoría cinética de los gases*, es probablemente la máxima contribución de la física de la segunda mitad del siglo XIX a la teoría atómica. Si uno se representa un gas como la reunión, dentro de cierto volumen, de un número sumamente grande de bolitas que se mueven y entrechocan de una manera perfectamente elástica, se puede demostrar en particular que la presión de este gas será inversamente proporcional a su volumen (una ley demostrada experimentalmente por Boyle desde el siglo XVII) y, también, que dos volúmenes iguales de gases, a la misma temperatura y a la misma presión, contendrán el mismo número de moléculas. Este notabilísimo trabajo, que debemos especialmente a Clausius, permitió la construcción de un conjunto coherente que englobaba una buena parte de la física.

Sin embargo hay un dominio en el cual la teoría atómica perdió aparentemente algún terreno: el de la propagación de la luz. Como se ha visto anteriormente, Newton consideraba que la luz estaba constituida por un haz de partículas extremadamente pequeñas, que se movían en línea recta en el aire o en el vacío. Por su parte, el holandés Huyghens se había mostrado partidario de una teoría ondulatoria: veía la

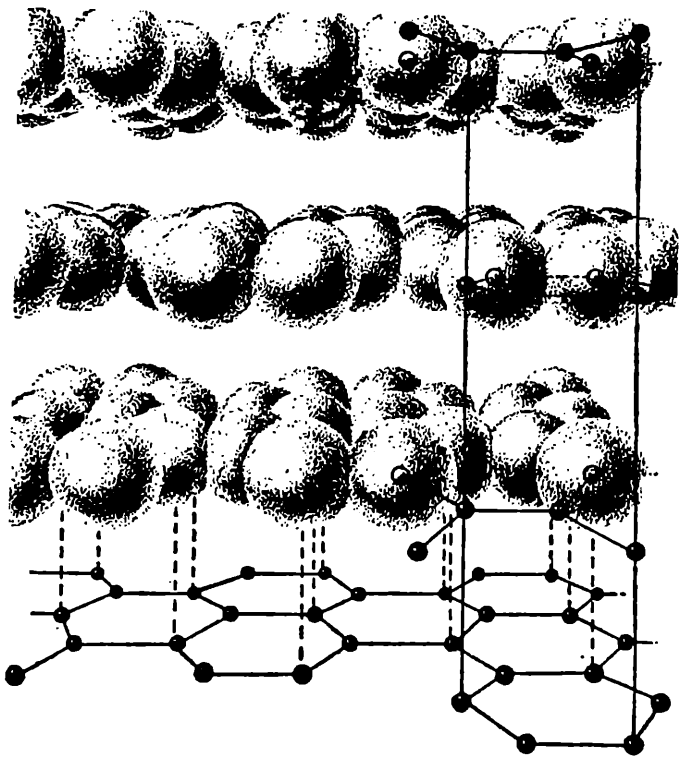
2 M. Pearce Williams, "Michael Faraday and the Evolution of the Concept of the Electric and Magnetic Field", en *Nature*, vol. 187, 1960, pp. 730-733.

luz como la propagación de una onda análoga a una onda sonora. Y aquí van a intervenir dos físicos geniales: Young y Fresnel.

Thomas Young nació el 13 de junio del año 1773 en Somerset, Inglaterra. Era un verdadero prodigio; a los 14 años de edad ya se consideraba un lingüista de alto nivel. Estudió medicina y realizó descubrimientos muy importantes en fisiología, en óptica y en elasticidad; murió en 1829. Agustín-Jean Fresnel nació el 1°. de mayo de 1788 en Broglie, Normandía. Tenía el título de ingeniero de puentes y caminos, pero al regreso del emperador Napoleón de la isla de Elba perdió su puesto a causa de sus convicciones monárquicas. La restauración de la monarquía lo restituyó en sus funciones. Sus trabajos científicos, que le abrieron las puertas de la Academia de las Ciencias en 1823, fueron dedicados en especial al estudio de la birefrigencia y la polarización de la luz. Falleció en 1827 en Ville d'Avray, cerca de París.

Young y Fresnel realizaron, independientemente uno del otro, magníficos experimentos sobre la interferencia. Mas la existencia de flecos de interferencia no se puede explicar dentro del marco de la teoría particular de luz según Newton. En otras palabras, se vuelve más y más ondulatoria la óptica de la época. Habrá que esperar al siglo XX y a la mecánica ondulatoria para que sea solucionado el problema de la naturaleza de la luz.

Pero no importa este retroceso, temporal y limitado. Lo que va tener una mayor influencia es que dos ramas de la ciencia han empezado a reunirse. Puramente química al principio, la teoría atómica va despejándose gracias a la entrada en la escena de los físicos.



Atomos y partículas. Distribución de los átomos en el cristal de grafito. (Q.)

Atomos y partículas

En el fondo, el viejo concepto griego de la *materia fundamental* seguía obsesionando a muchos. A principios del siglo XIX, en un momento en el cual la palabra va a pasar de los químicos a los físicos y a los que ahora llamamos fisicoquímicos, habrá otra tentativa por desligar una ley general, tratando de conciliar la sencillez aparente de la teoría antigua de los elementos con los datos experimentales que ahora se encontraban en número suficiente.

De nuevo es un médico quien va a ser el iniciador: William Prout (1785-1850), nacido en Horton, Gloucestershire, Inglaterra. Toda su vida la pasa en Londres, donde practicaba la medicina pero interesándose por la química. Había notado que los pesos atómicos de muchos elementos eran proporcionales al peso atómico del hidrógeno. Por lo tanto propuso que este gas se constituyera como la materia universal y que todos los otros elementos estaban formados por la condensación o la asociación de átomos de hidrógeno.

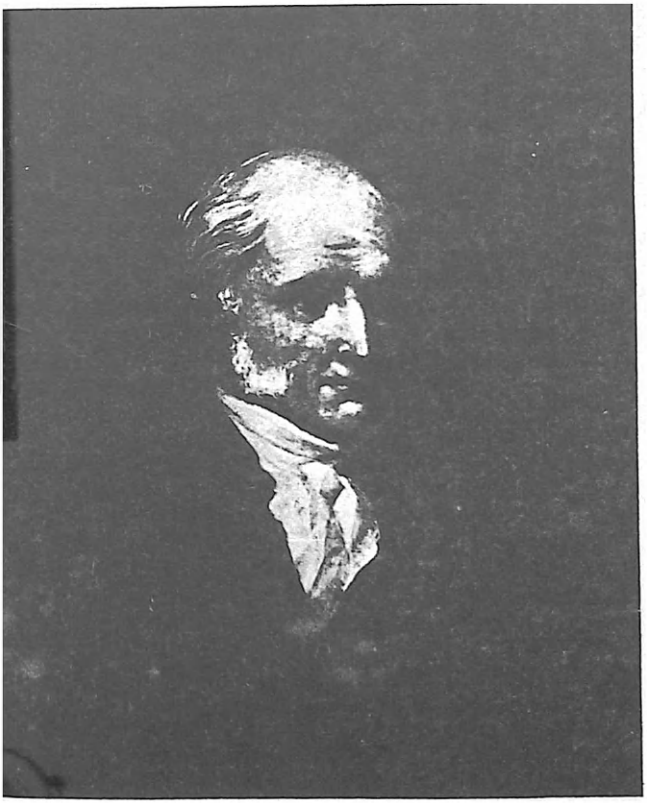
Al examen de esta hipótesis el belga Stas va a dedicar una parte importante de su trabajo. Jean-Servais Stas nació en Lovaina en 1813. Había ejecutado en 1835 un trabajo científico de muy buena calidad, en colaboración con de Koninck; Dumas lo distinguió tomándolo como asistente en su laboratorio de París. Más tarde fue nombrado profesor de química en la Escuela Real Militar de Bruselas, aunque pronto tuvo que renunciar a este puesto debido a problemas de salud, falleciendo en Bruselas en 1891. Stas comenzó su muy paciente investigación, ejecutada con máximo cuidado y utilizando métodos independientes, del peso atómico de cierto número de elementos. Las conclusiones de este trabajo de mucha duración son especialmente importantes: en primer lugar, los pesos atómicos son constantes y, en particular, no

dependen de la temperatura; por otro lado, se encuentra falsa la hipótesis de Prout de que, en general, los pesos atómicos no son múltiplos del peso atómico del hidrógeno. Según la propia expresión de Prout, los átomos son "individualidades aparte" y no hay unidad de la materia.

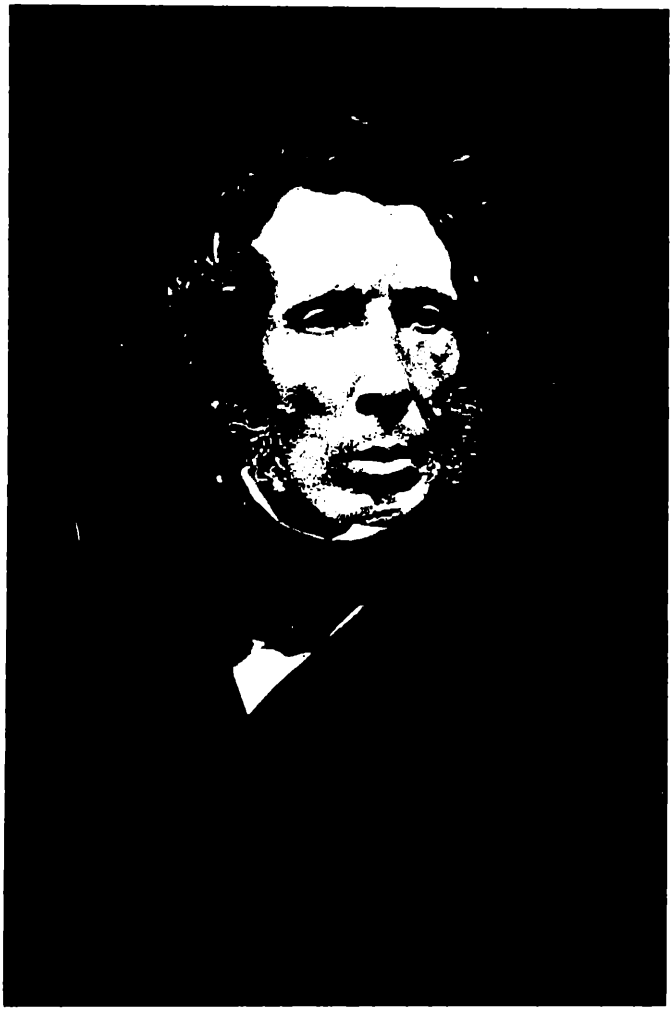
Otros descubrimientos en el campo de la química van además a reforzar la fe en una estructura discontinua de la materia. La idea de *valencia química,* o sea el valor de combinación, será propuesta por Frankland en 1852. Este paso es lógico al considerar la obra de los gigantes de la química que fueron Wöhler y Liebig. Friedrich Wöhler nació el 31 de julio de 1800 en Eschersheim, cercano a Frankfurt y Main. Estudió medicina y cirugía pero, desde temprano, se dedicó únicamente a la química. Fue en 1828 que realizó su histórico experimento de la síntesis de la urea; este trabajo, que seguramente constituye su máximo título a la fama, fundía realmente la química orgánica al demostrar que no existe ninguna diferencia esencial entre la química de los constituyentes biológicos y la de los cuerpos inorgánicos. En 1836 recibió su nombramiento de profesor de química de la facultad de medicina de Gotinga;[1] su enseñanza conocía un éxito inmenso.

El barón Justus von Liebig nació en Darmstadt, el 12 de mayo del año 1803, y después de terminar serios estudios de química fue a trabajar a París por un tiempo. Al regresar a Alemania tomó a su cargo la cátedra de química en Giessen, donde el valor de sus investigaciones y la calidad de su enseñanza atrajeron a los químicos de todo el mundo. Posteriormente desempeñó la cátedra de química en la Universidad de Munich, falleciendo en esta ciudad el 18 de abril de 1873. No hay muchos campos de la química donde no haya realizado descubrimientos de gran importancia. Pero desde el punto de vista de la teoría atómica lo más notable es que en 1832 Wöhler y Liebig habían demostrado que, en el curso de ciertas reacciones, unos grupos de átomos se mueven en bloque, como una entidad aparte, de una molécu-

1 Murió en esta ciudad el 23 de septiembre de 1862.



William Prout propuso que el hidrógeno se considerase como el elemento universal pues demostró que los pesos atómicos de todos los elementos conocidos eran proporcionales al peso atómico de este gas. (DE.)



la a otra. Los radicales químicos –o sea el nombre científico de estos grupos de átomos– se comportan de hecho como un gran átomo.

Una de las máximas personalidades de esta época es, sin lugar a duda, la de Dimitri Ivanovich Mendeleev, quien nació en Tobolsk, Siberia, el 7 de febrero de 1834, siendo el último de 17 hijos. En enero de 1859 el gobierno del zar lo mandó a Heidelberg, Alemania, "para que se perfeccionara en las ciencias", y es allí que, según toda probabilidad, tomó conciencia del gran interés de las investigaciones físicas aplicadas a los problemas químicos. Cuando regresara a Rusia empezará una brillante carrera académica, primero en 1863 como profesor de química en el Instituto Tecnológico de San Petersburgo y, después de 1866, como profesor de química de la universidad de la misma ciudad. Es alrededor de 1869 cuando concebirá la idea de su *sistema de clasificación periódica*, del cual informará por la misma época a la Sociedad Química Rusa. De hecho muchos autores se habían preocupado anteriormente por buscar una clasificación *natural* de los elementos. Muy temprano se había reconocido que se ordenaban en familias, es decir en grupos que contenían elementos dotados de propiedades análogas, ya sean físicas (el aspecto metálico, por ejemplo) o químicas (el hecho de combinarse con el oxígeno en la proporción de dos átomos del elemento por uno de oxígeno), y también de no combinarse con el hidrógeno (como, por ejemplo, el cobre).

Pero la contribución de Mendeleev era fundamental. Le fue posible al fisicoquímico ruso demostrar que los elementos de una familia natural se siguen uno después del otro en períodos regulares y en función del peso atómico. En última instancia los elementos podían ser ordenados en un *sistema natural*; el autor adoptó una presentación rectangular en la cual cada elemento ocupa una casilla del marco. Mendeleev enunció su descubrimiento en los siguientes términos:

← Wöhler fue el primero en sintetizar la urea y en describir las propiedades del aluminio. Fue catedrático de química de la Universidad de Gotinga, y tradujo al alemán las obras de Berzelius y Hissinger. (DE.)

> Con el acrecentamiento del peso atómico los elementos tienen primeramente propiedades nuevas, variables, y que, en un período nuevo, en una nueva línea y en un nuevo rango de elementos, se repiten en el mismo orden que en la serie precedente. Es por eso que la ley periódica puede ser formulada de la manera siguiente: las propiedades de los elementos, y por lo tanto las propiedades de los cuerpos sencillos y complejos que forman entre sí, se dan en una dependencia periódica [es decir, que se repiten periódicamente] de su peso atómico.

Una de las confirmaciones más estupendas de la corrección de la ley periódica proviene de que ésta permitió predecir la existencia de elementos entonces desconocidos y, además, permitió describir de antemano algunas propiedades químicas y fisicoquímicas de éstos. Y ello ocurrió porque algunas de las casillas de la tabla diseñada por el fisicoquímico ruso estaban vacías y porque se atrevió a atribuirlas a cuerpos exitantes, todavía no descubiertos, cuyas propiedades tenían obviamente que situarse entre las de sus vecinos. Desde este punto de vista la historia del galio es fascinante.

Mendeleev atribuyó a una de las casillas vacías de la tabla un cuerpo que llamó *ekoaluminio.* Tenía que existir, decía Mendeleev, el ekoaluminio. Y el 27 de agosto del año 1875 el químico francés Lecocq de Boisbaudran descubría, en un mineral de cinc proveniente de los Altos Pirineos, un elemento nuevo, para el cual propuso el nombre de galio en honor de su patria. Un poco más tarde, de Boisbaudran precisaba que el galio tenía un peso atómico de 68 y una densidad de 4,7. Parecía muy semejante al ekoaluminio. El 6 de noviembre de 1875 Mendeleev comunicaba a la Sociedad Rusa de Física y Química los resultados puramente teóricos de sus investigaciones sobre el galio, afirmando en especial: "Si este galio es idéntico al ekoaluminio, su peso atómico será 68, su densidad 5,9." Pero, si había acuerdo sobre el peso atómico, sin embargo había una diferencia muy notable entre los valores de densidad. Nuevos experimentos, ejecutados más cuidadosamente, iban a confirmar las previsiones de Mendeleev.

Siguen los triunfos de la clasificación periódica. En 1880

Mendeleev, uno de los principales científicos de su época, concibió en 1869 el sistema de clasificación periódica de los elementos, aportación trascendental para el desarrollo de la física y la química. (DE.)

los químicos escandinavos Nilson y Kleve descubren un elemento nuevo: el escandio; se trata del ekaboro que el ruso había descrito teóricamente.

La fama de Mendeleev sigue aumentando, especialmente en Inglaterra; y en 1882 la Royal Society le otorgará la medalla Davy en reconocimiento a sus trabajos sobre la clasificación periódica de los elementos, cuyos triunfos prosiguen. Así, en 1885, el alemán Winkler preparará, dándole el nombre de germanio, el ekasilicio de Mendeleev, y así sucesivamente. La carrera académica del fisicoquímico tuvo su apogeo cuando fue nombrado director de la Oficina de Pesos y Medidas, en 1893. A la cabeza de esta institución, especializada en estudios de metrología, siguió Mendeleev dedicándose a estudios de fisicoquímica aplicada a la química, hasta su muerte, ocurrida el 20 de enero de 1907 en San Petersburgo.

Ahora, las investigaciones realizadas anteriormente por Faraday sobre el fenómeno de la electrólisis van a demostrar su valor, sumamente importante en lo que concierne a la estructura granular de la electricidad. En efecto, Faraday había probado que, en la electrólisis, la misma cantidad de electricidad corresponde al transporte de un equivalente (o sea la masa atómica dividida por la valencia) de sustancia. También se puede considerar la electrólisis como el transporte, en sentidos opuestos, de una cierta cantidad de electricidad positiva y de la misma cantidad de electricidad negativa. Faraday había llamado *iones* a estas partes que se mudan durante el fenómeno electrolítico: los *aniones* viajan hacia el ánodo y los *cationes* hacia el cátodo.

Pero la existencia real de los iones todavía no estaba demostrada. Se dará un gran paso en este sentido cuando Hittorf medirá, en 1863, la velocidad de éstos. Por otra parte, hace falta notar que había que aceptar, partiendo en especial de los trabajos del termodinámico Clausius (1857), que existían *iones libres* en las soluciones de electrolitos (un electrolito es un compuesto que se puede electrizar, por ejemplo el cloruro de sodio –la sal común–).

Se debe el próximo paso al científico casi completo del

Hermann von Helmholtz fue el inventor del oftalmoscopio, un instrumento para examinar la retina. Expresó el principio de la conservación de la energía en términos matemáticos. (DE.)

siglo XIX: Helmholtz, quien nació en Postdam el 31 de agosto de 1831. Su carácter universalista se encuentra evidente en el desarrollo de su carrera universitaria. Fue profesor de fisiología en Königsberg (1849), en Bonn (1855), en Heidelberg (1858), y en 1871 es profesor de física en Berlín (en donde falleció el 8 de septiembre de 1894). Sus múltiples investigaciones cubren todo el campo de la ciencia. Se ocupó de la óptica fisiológica, de la teoría de los sonidos, de electrodinámica y de física meteorológica, así como de muchos otros campos. Hacia 1881 se dedicaba Helmholtz al estudio de los problemas fundamentales de la física de su tiempo, y concluirá afirmando que, si se acepta una teoría granular de la materia, entonces es necesario también aceptar una estructura granular para la electricidad.

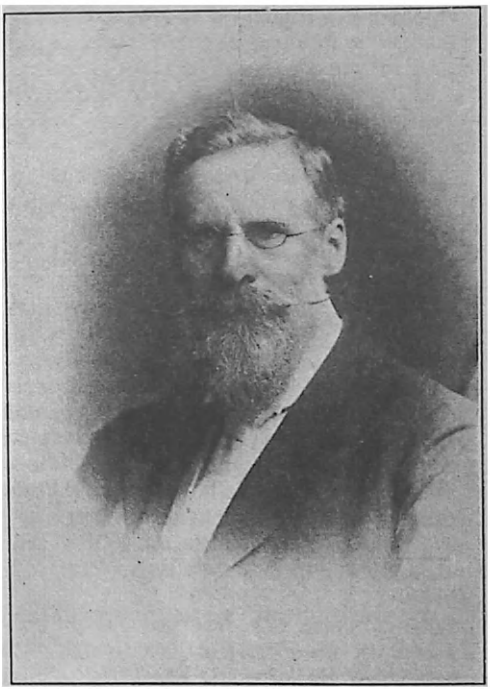
Además Stoney computará la cantidad de electricidad llevada por lo que llamaríamos hoy un *ion univalente*, es decir la cantidad más pequeña de electricidad desplazada en

el fenómeno de la electrólisis. A esta cantidad, positiva o negativa, la designará, en 1891, con el nombre de *electrón*. Hace falta recalcar que aquí el término *electrón* no está considerado en su sentido moderno de partícula elemental, sino que representa sólo y únicamente cierta cantidad de electricidad.

En esta época se inicia la física moderna. Se puede probablemente fechar su nacimiento en el año de 1889, en el momento en que el físico Hittorf *fabrica sombras*. Para eso emplea un tubo de vidrio provisto de discos de platino conectados a una fuente de alto voltaje. Cuando uno haga el vacío, gracias a una bomba de buena calidad en un tubo provisto de dos electrodos conectados a una fuente de alto voltaje, una descarga eléctrica se establece entre los electrodos; posteriormente, al continuar el bombeo del tubo, se nota que las paredes del mismo se vuelven fosforescentes. En esencia, Hittorf demostró que, al colocar un objeto entre el electrodo negativo –o cátodo– y el vidrio de la bombilla, una sombra de este objeto es proyectada sobre la pared. Pronto el berlinés Goldstein confirmará el hecho, por analogía con los fenómenos de sombra producidos por la luz visible, nombrando como *rayos catódicos* a este misterioso X cuya existencia se encuentra revelada por medio de la sombra.

William Crookes va a clarificar la situación. Había nacido en Londres el 17 de junio de 1832 y allí mismo moriría el 4 de abril de 1919. Pasó toda su vida en la capital británica, trabajando en un laboratorio privado instalado en su domicilio. De éste, además de una serie muy importante de trabajos sobre los rayos catódicos, surgirá el descubrimiento del talio y, más tarde, también muchos resultados sobre el radio.

En 1879 Crookes perfecciona el aparato de Hittorf –es el mismo tubo que, con unas modificaciones menores, se emplea todavía con el nombre de *tubo de Crookes*–. Para el físico inglés, los rayos catódicos son materia. Demuestra en especial que estos rayos se propagan en línea recta y que su trayectoria puede desviarse con un imán. Su visión del universo y de su estructura es muy notable; así, escribe:



Sir William Crookes inventó el radiómetro, fue el primero en observar la línea verde del talio y en probar la existencia del helio solar y terrestre, así como el descubridor del uranio X_1. Fue fundador y editor de la revista *Chemical News*. (DE.)

"Parece que hemos puesto a nuestro alcance las pequeñas partículas que podemos, con buenas garantías, suponer son la base física del universo".

En el intervalo, la existencia de otros rayos había sido demostrada. En 1886 Goldstein notaba que, al perforar el cátodo con agujeros muy finos, escapan algunos rayos que se mueven en sentido inverso al de los catódicos. A estos nuevos rayos dio el nombre de *rayos canales*. Los científicos se empeñaron en muchas controversias acerca de la naturaleza de dichos rayos. Para Crookes poseen una naturaleza material; pero Goldstein cree que son solamente cierta forma

de luz. Se debe en particular esta opinión a la considerable influencia de la teoría de Hertz sobre el campo eléctrico, que conduce a un concepto abstracto de las cargas eléctricas. Sea lo que fuere, Varley y Crookes concluyen de sus investigaciones que los rayos catódicos están formados por partículas eléctricas negativas.

Wilhelm Conrad Roentgen, que fue en especial director del Instituto de Física de Würzburg, había nacido el 27 de marzo de 1845 en Lennep, Prusia. Advirtió que placas fotográficas, que se pensaba protegidas de la luz (por ejemplo por una envoltura de papel negro), se velaban cuando se les guardaba cerca de un tubo de Crookes en operación. Deduce el físico que algunos rayos, de una naturaleza desconocida, son emitidos por el tubo, y pronto descubre que estos rayos inducen la fosforescencia de una pantalla pintada con platinocianuro de bario (pantalla radioscópica) y que estos rayos son capaces de atravesar cierto espesor de madera, de metal, etcétera. De inmediato es toda una nueva tecnología médica la de la radiografía. Por su descubrimiento de los rayos X, Roentgen iba a recibir un Premio Nóbel en 1901. Antes de su muerte, el 1°. de febrero de 1923, en Munich, le fue posible ver las fantásticas aplicaciones de su trabajo.

Por su parte, el físico inglés Joseph John Thomson (1856-1940) notó que, al hacer pasar un haz de rayos X a través de un gas, el gas se convertía en conductor. Pero, con anterioridad, los físicos van't Hoff y Arrhenius habían propuesto una teoría de la conducción eléctrica en los gases, análoga a la teoría de los iones en las soluciones de electrolitos. Entonces las observaciones de Thomson proveían un soporte experimental a esta teoría, y por lo tanto había que aceptar, como consecuencia de los experimentos de Rutherford y Thomson, que bajo la influencia de los rayos X los átomos de gas se fraccionaban en partículas iónicas, que se ionizaban.

Faltaba todavía el descubrimiento de la radiactividad. Se debe al francés Antoine Henri Becquerel (París, 15 de diciembre de 1852; Le Groisic, 25 de agosto de 1908).

Después de estudios superiores muy brillantes, recibió un nombramiento de profesor en la Escuela Politécnica de París. Es durante el mes de febrero del año 1896 que demostró la existencia de la radiactividad: por ejemplo, cristales de sulfato doble de potasio y de uranio, y también minerales de uranio, imponen su silueta, impresionan una placa fotográfica protegida de la luz por medio de papel negro. Se dice que el primer experimento fue debido al azar: que había en el mismo cajón determinados minerales de uranio y unas placas fotográficas, y que, al ser reveladas éstas, se encontró que habían sido impresionadas. Una vez más hay que estar de acuerdo con Pasteur –y Fleming no lo negaría– de que el azar favorece a la gente preparada. De cualquier modo, por este descubrimiento –y todas las investigaciones subsecuentes– recibiría, con Pierre y Marie Curie, el Premio Nóbel de Física de 1903.

En el mismo año de 1896, Thomson afirma que los átomos están compuestos por partículas más pequeñas:

Becquerel descubrió los rayos emitidos por el uranio. Hizo importantes estudios sobre la polarización magnética rotatoria, la fosforescencia, el espectro infrarrojo y la radiactividad. (DE.)

> Así... tenemos en los rayos catódicos materia de un nuevo estado... un estado en el cual toda materia está en absolutamente el mismo estado; esta materia es la sustancia a partir de la cual todos los elementos químicos están constituidos.

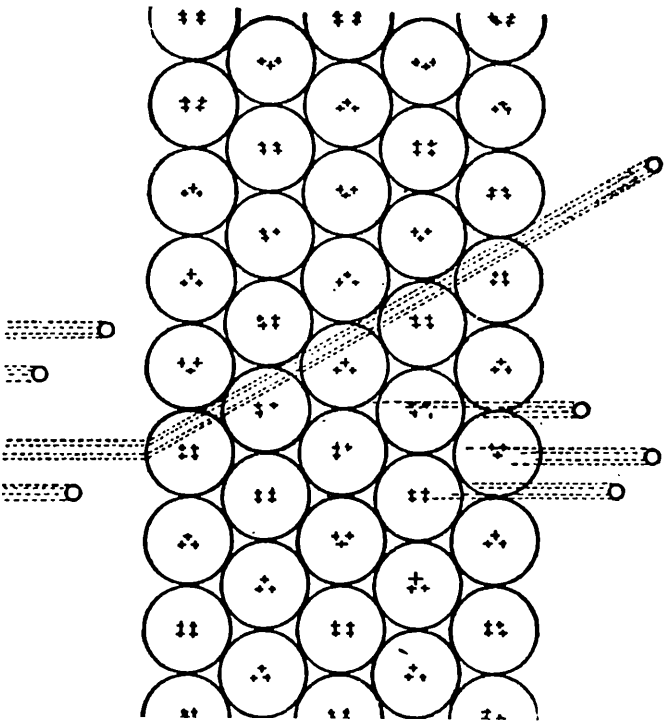
Poco más tarde, en octubre de 1897, basándose en los trabajos preliminares de Perrin (1895), de Wiechert (enero de 1897) y de Kaufmann (julio de 1897), Joseph John Thomson midió las deflecciones magnéticas y eléctricas de los rayos catódicos en un vacío muy alto. De los resultados numéricos encontrados dedujo en especial la relación e/m (e = carga eléctrica de la partícula; m = masa de esta misma partícula). El valor propuesto por Thomson era un tanto grande y, en diciembre del mismo año, lo corregirá Kaufmann.

Pero el valor propuesto por Thomson y el propuesto por Kaufmann eran mucho más grandes que el valor de la relación e/m encontrado en el caso del hidrógeno en líquidos. Entonces había que concluir, o que la carga era más grande, o que la masa era más pequeña. Thomson adoptó provisionalmente este último punto de vista e introdujo el nombre de *corpúsculo*. De inmediato se atacó el problema de la medición directa de la carga eléctrica. Después de dos años (1898-1899) de trabajo estaba solucionado el problema: la carga del corpúsculo era, dentro de los errores experimentales, análoga a la carga de un ion univalente en un líquido. De esto se deduce que la masa del corpúsculo es más pequeña (1/770 de la del átomo de hidrógeno, según Thomson. Determinaciones más precisas efectuadas por Millikan en 1910 proporcionarán el valor 1/1 830). Y en 1899 el mismo Thomson presentará así las conclusiones de su trabajo:

> Considero que los átomos contienen un gran número de cuerpos más pequeños, que yo llamaré corpúsculos; la masa de un corpúsculo es la masa del ion negativo de un gas a presión baja, es decir aproximadamente 3×10^{-28} gramos. En el átomo normal este ensamblaje de corpúsculos forma un sistema eléctricamente neutro...
> ...Considero que la electrificación de un gas se debe a la

> ruptura de algunos de los átomos de este gas, con, y en consecuencia, el desprendimiento de un corpúsculo de algunos átomos. Desde este punto de vista, la electrificación consiste esencialmente en la cortadura del átomo, una parte de la masa del átomo liberándose y destacándose el átomo original.

Otra determinación de la relación *e/m*, realizada con un método completamente independiente por Zeeman, proporcionará un valor semejante al propuesto por Kaufmann. Lorentz, finalmente, empleará para designar a estas nuevas partículas el término de *electrones*.



Primer modelo del átomo. Modelo de Rutherford que explica la desviación de las partículas alfa. (Q.)

Primer modelo del átomo

Alrededor de fines del siglo XIX la situación en el mundo de la física es un tanto confusa. Cierto número de hechos experimentales permanece sin ser entendido, y no ha sido propuesta ninguna teoría amplia que pueda reunir en un conjunto coherente datos desemejantes y desconcertantes. Todo el mundo admite que la materia está compuesta por pequeñas partículas: los átomos. A pesar de que no parece imposible que los átomos de los diferentes cuerpos sean constituidos por la fusión de átomos de hidrógeno, tal cosa todavía es solamente una idea y no se ha encontrado a alguien capaz de sugerir un mecanismo probable. Por otra parte, se sabe que los átomos se combinan entre sí, se unen para formar moléculas, pero también que los átomos y moléculas pueden dividirse, proporcionando así partículas o bloques de partículas electrizadas (los iones). Al fin, una de las partículas elementales, el electrón, ha sido descubierta y medida: su masa es muy pequeña dado que representa solamente el 1/1 830 de la masa del átomo de hidrógeno. En suma, la física evoluciona ahora bajo dos signos: el atomismo y la electricidad.

De una manera general, el período que va del fin del siglo XIX a la primera guerra mundial va a consagrar el divorcio entre la ciencia y la filosofía: los filósofos, carentes de la formación que les permitirá aprehender –entender a partir del interior– el fenómeno científico, se desinteresarán de éste.

En esta época también la brecha que separa el pensamiento científico del religioso se ensancha aún más. Es probablemente más que casual este rechazo bastante general a entidades metafísicas o ideológicas, que coincide con la profundización de conceptos fundamentales, tales como los

de la materia o de la energía. Por otra parte, esta época se pone resueltamente bajo el signo del mecanicismo, en el sentido en que se considera entendido un fenómeno solamente cuando es posible construir un modelo mecánico del mismo. Más tarde, por el contrario, se aceptará que ciertos fenómenos no pueden ser reducidos a una explicación única y que, en muchos casos, se puede solamente determinar probabilidades de existencia.

La observación original de Becquerel, hecha en 1896, de que el uranio emite una radiación capaz de impresionar una placa fotográfica envuelta en material opaco, y que también modificaba la conductibilidad eléctrica del aire, proporciona el punto inicial de toda una serie de brillantes investigaciones. De éstas va a producirse el reconocimiento de la radiactividad como una de las ramas de la física moderna.

Siguiendo los consejos de Becquerel, una joven estudiante polaca, Marie Sklodowska, empezó a buscar compuestos que presentaban esta extraña propiedad de la radiactividad. Había nacido el 7 de noviembre de 1867 en Varsovia, en el seno de una familia de científicos. Comprometida por sus actividades revolucionarias, tuvo que abandonar muy joven su ciudad natal y marchó a Cracovia para empezar sus estudios universitarios, los que terminó en París. En 1895 iba a casarse con Pierre Curie, un físico ya bastante conocido, y a comenzar serias investigaciones.

Su futuro esposo nació en París el 15 de mayo de 1859. Sus primeros trabajos científicos estuvieron dedicados en particular a la piezoelectricidad, que desarrolló con la ayuda de su hermano Jacques, físico también, así como al perfeccionamiento de la balanza y al estudio del magnetismo. Pronto Pierre Curie se dio cuenta de que había algo fundamental en las investigaciones de su novia y por lo tanto se dedicó a trabajar con ella. Gracias a su conocimiento tan amplio de las técnicas finas de la física, diseñó rápidamente la forma de cómo medir la radiactividad, misma que durante unos años iba a emplear con su esposa Marie. Esencialmente la técnica de Curie era medir la variación de la conductividad del aire producida por un cuerpo radiactivo. Se mesuraba

con un electrómetro la corriente a través de un condensador plano (diámetro de las placas: 8 centímetros; distancia de las mismas: 3 centímetros), cargado con un voltaje de 100 voltios, cuando se había colocado una capa delgada de una sustancia radiactiva, finamente pulverizada, sobre una de las placas.

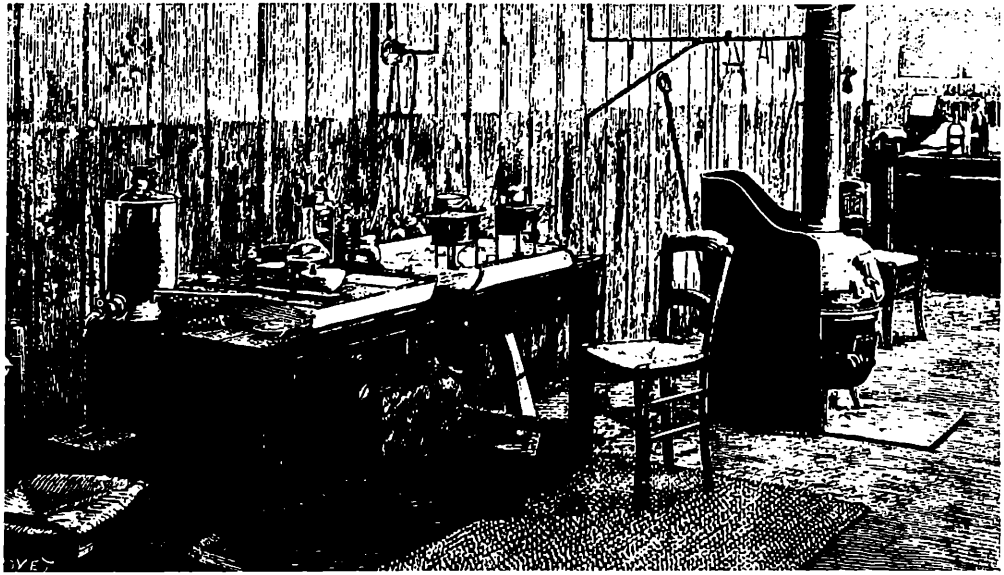
Con este aparato exploraron todas las sustancias y todos los minerales que pudieron encontrar en París. Pronto fue obvio que un mineral de uranio, la pecblenda, era especialmente activo. En abril de 1898 se podía prever la presencia, en ciertos minerales de uranio, de un nuevo elemento todavía más radiactivo que el uranio. Pierre y Marie Curie se procuraron una cantidad importante de pecblenda y, después de cuatro años de un trabajo sumamente laborioso, en el cual fueron ayudados por el químico Bémond, aislaron dos nuevos cuerpos que correspondían a casillas vacías en la clasificación de Mendeleev y para los cuales propusieron los nombres de polonio y radio. Pero esto no era más que el inicio del descubrimiento de toda una serie de elementos radiactivos; Debierne, por ejemplo, encontrará en 1889 el actinio.

Algunos años más tarde, en 1903, Pierre y Marie Curie, y Becquerel, recibieron el Premio Nóbel de Física, y el mismo año la Royal Society atribuirá a Pierre Curie la medalla Davy. Pero el sabio francés no tendrá tiempo de proseguir una carrera tan fructífera, y el físico genial, que se había mostrado como un experimentalista de máxima clase y notable teórico (su tratado sobre la simetría abre una nueva manera de concebir las leyes de la naturaleza), murió, aplastado por un camión de carga, el 19 de abril de 1906. Marie Curie siguió trabajando; se encargó de la cátedra de física de su esposo y prosiguió la obra empezada. En 1910 publicó un *Tratado de radiactividad* que sigue siendo un clásico de la ciencia. Y en 1911 iba a recibir otro Premio Nóbel, pero esta vez de Química.

No se retardaba la búsqueda. El mismo año que Debierne encontraba el actinio, Ernest Rutherford, un gigante de la física moderna, realizaba el análisis de la radiación del

"El radio no es para enriquecer a nadie. Es un elemento; es para todos."
Marie Curie

Juntos, Pierre y Marie Curie, esta famosa pareja, descubrieron el radio y el polonio, y fundaron la ciencia de la radiactividad. Esta aportación vendría a ser una de las más trascendentales para el desarrollo de la ciencia fisicoquímica en nuestro siglo. (DE.)



Laboratorio donde los Curie realizaron sus experimentos que culminarían con el descubrimiento del radio. Esta ilustración fue publicada originalmente junto a un artículo de Jacques Danne en la revista *La Nature,* núm. 32, París, 5 de marzo de 1904. (DE.)

uranio. Había nacido en Nelson, Nueva Zelanda, el 30 de agosto de 1871. Después de estudiar en su isla marchó a Cambridge, donde inició algunas investigaciones. Fue nombrado en 1898 profesor de física de la Universidad McGill, de Montreal. En 1907 debía regresar a Inglaterra, donde ocupó varias cátedras de física, especialmente en Manchester y Cambridge (allí falleció el 19 de agosto de 1937). El laboratorio Cavendish, de Cambridge, del cual fue director, se convirtió durante muchos años en un lugar de formación para la investigación por un grupo afamado de jóvenes físicos.

En 1899 Rutherford demostró que la radiación emitida por el uranio está compuesta por dos elementos. Uno de ellos es muy poco penetrante, los rayos alfa, y el otro muy penetrante, los rayos beta. Caracteriza estos componentes por medio de sus diferencias de absorción. La intensidad de los rayos alfa se reduce a la mitad al atravesar una lámina de aluminio de un quincuagésimo de milímetro de espesor, mientras que hace falta una lámina de medio milímetro de espesor en el caso de los rayos beta. Más tarde se encontrará un tercer componente, los rayos gamma, en la radiación del uranio, mismos que son mucho más penetrantes dado que estos rayos pueden atravesar una plancha de plomo de unos centímetros de espesor. Igual que el uranio, el radio emite estas tres radiaciones, y para los estudios experimentales será este último compuesto el utilizado preferentemente.

Rutherford demostró también que los rayos beta son fácilmente desviados de su curso por un imán. Becquerel los arqueó por acción de un campo eléctrico y demostró que su comportamiento era semejante en todo al de los rayos catódicos. Por lo tanto se podía concluir que los rayos beta eran electrones.

Restaban dos radiaciones, alfa y gamma, que había que analizar. Por supuesto se intentó aplicarles la misma técnica. Desgraciadamente no se disponía entonces de imanes capaces de producir un campo magnético lo suficientemente intenso como para curvar estos rayos. Por 1900 se consideraba muy probable que los rayos alfa eran partículas cargadas con

electricidad positiva, pero fue solamente hasta alrededor de 1906 que se logró demostrarlo en forma definitiva.

Por su parte, Sir William Crookes realizó, hacia 1900, un experimento especialmente curioso. Tomó una solución de uranio y lo precipitó con carbonato de amonio. Entonces intentó disolver de nuevo este uranio precipitado en un exceso del reactivo, pero un pequeño residuo permaneció insoluble. Le dio el nombre de uranio X a este residuo, que se reveló extremadamente radiactivo, mientras que el uranio precipitado y redisuelto resultaba inactivo. Becquerel comprobó estos resultados y notó que, después de más o menos un año, el residuo anteriormente activo se había vuelto inactivo, mientras que el uranio anteriormente inactivo se había vuelto activo.

De nuevo el grupo de Rutherford entra en escena. Uno de los estudiantes de Rutherford, que enseñaba en la Universidad McGill de 1900 a 1902, era Frederick Soddy, quien había nacido el 2 de septiembre de 1887 en Eastbourne, Sussex, y que en 1912 ganaría el Premio Nóbel de Química por sus trabajos sobre la estructura del átomo.

En 1902 Rutherford y Soddy observaron en el torio el mismo fenómeno que Crookes y Becquerel habían notado en el uranio. Se podía deducir de estos experimentos que los compuestos X son diferentes de sus sustancias madres y que pierden su actividad con el transcurso del tiempo. Anteriormente, en 1899, Rutherford había demostrado que el torio se comportaba de manera muy extraña: se podían explicar las variaciones observadas en su radiactividad solamente al admitir que una *emanación* se desprendía del torio, que esta misma emanación era radiactiva y que su actividad decrecía con el tiempo. (Esta propiedad no es exclusiva del torio; la tienen igualmente el radio y el actinio.) En el mismo año, Pierre y Marie Curie notaban que una varita, encerrada en un contenedor con un poco de radio, se volvía radiactiva. Aproximadamente por la misma época, Rutherford repetía la misma manipulación con un alambre de platino y torio. Después de cierto tiempo el alambre era lavado con ácido clorhídrico (que no ataca al platino) y, tras evaporar el

ácido, se obtenía un residuo radiactivo. Claro que se repitió muchas veces el experimento, lavando el alambre de platino con varios productos químicos que no lo corrompen. Rutherford quedó en posición de demostrar que el cuerpo radiactivo depositado sobre el alambre no era torio; por lo tanto hubo que concluir que provenía de una descomposición de la emanación del torio.

A pesar de que los estudios precedentes habían enseñado que la radiactividad decrecía con el tiempo, aún no se sabía prácticamente nada sobre la manera como se producía tal disminución. En otras palabras, se desconocía el fenómeno de la radiactividad en sí. Dos investigaciones, casi paralelas, van a aclarar un poco el problema, pero al mismo tiempo plantearán nuevas interrogantes. En 1902 Rutherford y Soddy demuestran que la ley de disminución de la radiactividad es exponencial, es decir que, durante un intervalo de tiempo muy pequeño, la variación promedio de actividad es proporcional a la actividad inicial. En 1903 Curie y Laborde demuestran que el radio emite constantemente calor (aproximadamente 100 calorías por gramo de radio y por hora)[1] y muestran también que esta generación de calor es independiente de la temperatura del radio.

Muy poco tiempo después, siempre en 1903, Rutherford y Soddy proponen la explicación general de todos estos fenómenos: ciertos átomos se fracturan espontáneamente, se desintegran, emitiendo partículas alfa, partículas beta o partículas gamma. Además se trata de un fenómeno atómico, y no molecular, porque el óxido de torio y el nitrato de torio, por ejemplo, poseen las mismas propiedades. Por otra parte se trata de una desintegración, y no de una fusión entre átomos, porque las masas atómicas de los cuerpos producidos son menores que las masas atómicas de los cuerpos productores.

Uno recuerda que en 1897 el físico británico Thomson había medido la relación *e/m* del electrón... Y seguía

1 En realidad el valor indicado por los autores es demasiado pequeño. La cantidad de calor producida por 1 gramo de radio en una hora sería de 135 calorías.

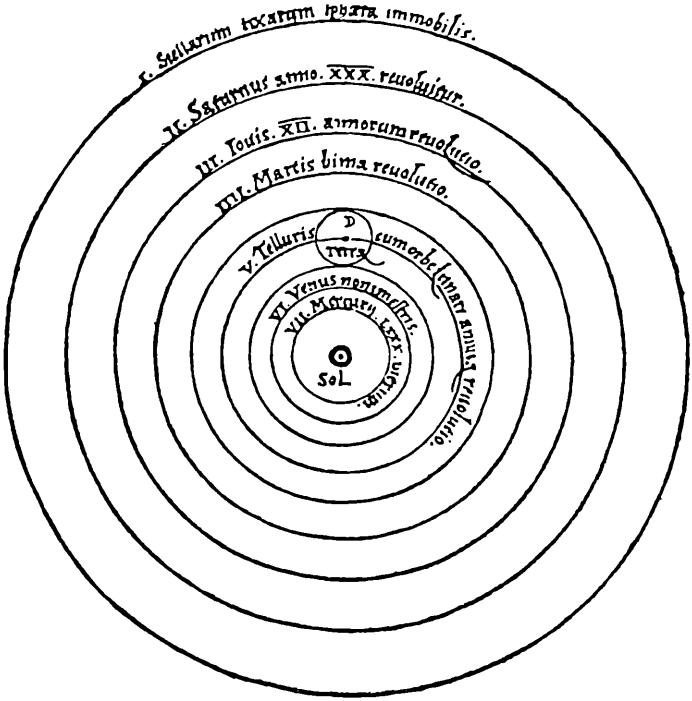
Lord Rutherford identificó los tres tipos de radiación de las sustancias radiactivas y esbozó métodos para cuantificar las partículas alfa. (DE.)

Frederick Soddy construye, en 1913, un primer modelo de átomo que constaba de un núcleo cargado positivamente y alrededor del cual giraban electrones cargados negativamente. Dichas cargas derivan en una carga eléctricamente neutra. Demostró, estudiando las partículas alfa y beta, la existencia de los isótopos radiactivos. (DE.)

trabajando este hombre de vida tan extraña. Joseph John Thomson había nacido en Ceetham Hill, cerca de Manchester, el 18 de diciembre de 1856. Después de hacer estudios excelentes enseñó física en Inglaterra y en los Estados Unidos. Es el 30 de abril de 1837 que anunció a la Royal Society, de la cual era miembro hacía aproximadamente 14 años, el descubrimiento del electrón. En 1906 la Academia Sueca lo eligió como laureado por un Premio Nóbel. Siguió trabajando, pero 1918 vio el fin de su carrera científica: renunció a su puesto de director del laboratorio Cavendish. Sin embargo aceptó la maestría del Trinity College (un puesto administrativo), y es teniendo este cargo que falleció, el 30 de agosto de 1940.

La técnica para la medición de *e/m* que Thomson desarrolló no había sido olvidada y, durante numerosos años, los físicos se dedicaron a determinar esta relación. Se dedujo en particular de todos estos trabajos que la partícula alfa era, en realidad, helio –bajo una forma especial–. Thomson mismo continuaba sus investigaciones en esta dirección y, hacia 1910-1911, poseía un instrumento bastante poderoso. Cuando estudió el neón –un gas raro– observa en su aparato dos líneas que correspondían a los pesos atómicos 20 y 22. Eso significaba que el neón *común* es una mezcla de dos neones, dotados de las mismas propiedades químicas pero de propiedades físicas diferentes. En 1913 Soddy llamará isótopos a tales cuerpos. El estudio de los isótopos será proseguido por Aston, quien comprobará, en especial, que el cloro es una mezcla de dos isótopos: el cloro 35 y el cloro 37. El caso del cloro es particularmente importante porque había sido posible determinar su peso atómico con una precisión bastante satisfactoria; se había encontrado el valor de 35,5 aproximadamente. Dado tal peso atómico era imposible considerar al cloro como un ensamblaje de átomos de hidrógeno, según la hipótesis unitaria de Dalton y de Prout. Pero ahora, que estaba comprobado que el cloro *común* no es más que una mezcla de cloros con pesos atómicos enteros, se volvía factible considerar de nuevo esta teoría.

Con todos estos elementos de información podían los



"...el modelo [atómico] de Rutherford se parecía bastante al del sistema solar: el Sol correspondiendo al núcleo y los planetas a los electrones". La ilustración representa el sistema del mundo de Copérnico, publicada en 1543 en *De Revolutionibus*. (DE.)

físicos empezar a darse idea de algo acerca de la estructura del átomo. Faltaba solamente un dato, que pronto Lenard proporcionaría. Philip Lenard nació el 7 de junio de 1876 en Bratislava, Hungría, pero fue educado casi totalmente en Alemania, donde hizo una brillante carrera. Se le concedió en 1905 un Premio Nóbel de Física y fue nombrado en

1909 director del Instituto Radiológico de Heidelberg. En el año 1903 Lenard había demostrado que en el interior de un átomo predomina el vacío.

Thomson propuso entonces un modelo de átomo, que resultó muy poco satisfactorio. Finalmente, en 1913, Rutherford demostró que un modelo que constaba de un minúsculo núcleo cargado positivamente, y alrededor del cual giraban electrones, daba cuenta de todos los fenómenos conocidos. El número de electrones debía ser tal que el conjunto resultara eléctricamente neutro y, dado que los electrones tienen una masa ínfima, toda la masa del átomo debía estar prácticamente concentrada en su centro. Es decir, que el modelo de Rutherford se parecía bastante al del sistema solar: el sol correspondiendo al núcleo y los planetas a los electrones.

Thomson adoptó el modelo de Rutherford y se dedicó a hacer unos cálculos sobre el átomo de hidrógeno. En efecto, el caso de este elemento es más fácil de tratar porque su núcleo —el protón— está asociado a un solo electrón. Mediante algunas hipótesis simplificadoras, Thomson dedujo que el radio de un electrón es aproximadamente 10^{-13} centímetros —a título de comparación, el valor aceptado ahora es $(2{,}81751 + 0{,}00006) \times 10^{-13}$ centímetros. Además se podía concluir, de los experimentos realizados por Rutherford alrededor de 1911-1912, que los radios de los núcleos atómicos son de 10^{-12} a 10^{-13} centímetros. Pero, a partir de estas investigaciones y de este primer modelo de un átomo, mucho quedaba por descubrir.

El alba de la física nuclear

A principios del siglo XX la difracción de los rayos X va a proporcionar un material experimental considerable a esa ciencia muy joven que se llama física atómica. El siglo anterior había atestiguado el desarrollo de la óptica; en particular el francés Fresnel había demostrado que la luz no solamente se refleja, como lo habían comprobado Newton y Descartes, sino que también se difracta.

Sir William Bragg iba a extender de una manera prodigiosa los resultados de la óptica ondulatoria al estudio de la constitución de la materia. Había nacido el 2 de julio de 1862 y estudiado en Cambridge en el afamado Trinity College. Después de una temporada en Australia, donde enseñó física y comenzó unos trabajos sobre la radiactividad, regresó a Inglaterra para desempeñar varios puestos académicos. Por ese tiempo, Fresnel demostró que la luz visible se difracta, por ejemplo, al pasar a través de una rendija estrecha; Bragg demuestra que los rayos X pueden ser difractados por lo planos reticulares de los cristales. De esta observación debía surgir una ciencia nueva, la cristalografía de rayos X, cuyas aplicaciones a la física, la química, la biología y la biofísica son innumerables. Por eso recibió en 1918 el Premio Nóbel de Física. Su influencia sobre el desarrollo de la física moderna fue muy grande, tanto por la alta calidad de sus trabajos como por el valor de sus enseñanzas. El cargo de presidente de la Royal Society, que ocupó de 1938 a 1940, también le permitió impulsar el desarrollo de la física, aun en tiempo especialmente crítico para su país y todo el mundo civilizado. Falleció el 12 de marzo de 1942.

Del estudio de la difracción de los rayos X por los diferentes elementos, el británico Moseley, quien iba a

fallecer fútilmente a los 27 años en una acción militar frente a los Dardanelos durante la primera guerra mundial, dedujo una clasificación de los elementos que coincidía con la del químico ruso Mendeleev. Henry Gwyn-Jeffreys Moseley nació en 1887, en Weymouth. Estudió en Eton y en Oxford, y después empezó a trabajar en el laboratorio de Rutherford, que era un verdadero vivero de físicos. Debía morir el 10 de agosto de 1916, en Gallipoli, antes de que pudiera haber demostrado todo su genio.

Moseley encontró que la raíz cuadrada de la frecuencia (es decir el número de vibraciones por unidad de tiempo) de la línea más intensa del espectro aumenta cuando uno pasa de un elemento al siguiente en la tabla periódica de Mendeleev. Así se volvía posible *numerar* los elementos químicos en un orden lógico, natural. Al número correspondiente a 1 dio el nombre de *número* o *número atómico.* De aquí Moseley concluyó –lo que será definitivamente comprobado más tarde– que el número atómico de un elemento debía representar el número de cargas positivas del núcleo.

Así, el valor científico de la clasificación periódica de Mendeleev era comprobado una vez más, y de una manera brillantísima. Se podía lógicamente esperar que en esta clasificación se encontrara la llave que permitiría dilucidar la estructura de los átomos. Si el número atómico era igual al número de cargas positivas llevadas por el núcleo, se debía encontrar también un número igual de cargas negativas dado que el átomo es eléctricamente neutro. Es decir, el número atómico tenía que ser igual al número de los electrones exteriores del modelo de Rutherford-Thomson.

Sobre esta base los químicos norteamericanos Lewis y Langmuir propusieron un modelo atómico, llamado *modelo del octete:* dado que los elementos en la clasificación periódica se distribuían en grupos de ocho, se podía imaginar que cada átomo tiene electrones distribuidos en capas, cada capa conteniendo ocho electrones a lo más (por ejemplo en

los ángulos de un cubo). Cuando está completa una capa de ocho, otra capa, paralela a la primera, comienza a ser llenada, etcétera. Era un modelo muy ingenioso porque explicaba muchos de los fenómenos químicos conocidos en la época, pero no era de interés para los físicos porque, de hecho, planteaba un número mayor de problemas que los que resolvía. Por ello fue rápidamente abandonado.

Moseley estudió el espectro de los rayos X, descubriendo más de cincuenta elementos, y halló la relación existente entre el número atómico de un elemento y la frecuencia de los rayos X que emite éste cuando es bombardeado por rayos catódicos. (DE.)

Para poder avanzar hacía falta una nueva teoría: la teoría cuántica. Max Planck iba a crearla. Nació en Kiel, Alemania, el 23 de abril de 1858. Después de efectuar estudios científicos en Munich y Berlín regresó como profesor a su ciudad natal en 1886. Posteriormente ocupó una cátedra en Berlín en 1889. Sus investigaciones, dedicadas a la física teórica y en especial a la termodinámica, le condujeron a crear la teoría cuántica en 1901. Supuso básicamente que la luz no era absorbida o emitida por un cuerpo cualquiera de manera continua, sino a saltos. En otras palabras, la energía –y la luz no es más que una forma especial de la energía– no es continua sino que tiene una estructura discreta, granular; habría átomos de energía como hay átomos de materia. Y se puede demostrar (resultados de los cuales Bohr, un poco más tarde, extraerá consecuencias sumamente importantes) que la cantidad elemental de energía, el *quantum* de energía –según la experiencia misma de Planck–, es proporcional a su frecuencia. El primer éxito de la teoría fue muy notado; ésta permitía explicar por qué el calor atómico (calor específico por átomo-gramo) de los metales, por ejemplo, es menor a la temperatura ambiente que a las altas temperaturas, hecho experimental que desafiaba cualquier explicación dentro del marco de las teorías clásicas. Era lógico, en cierto sentido, intentar una aplicación de la teoría cuántica a los fenómenos atómicos, lo que hará Bohr. La profundidad y el éxito incontestable de sus trabajos le valieron a Planck un Premio Nóbel de Física en 1918 y ser elegido, en 1926, miembro foráneo de la Royal Society. Murió en Gotinga el 14 de octubre de 1947.

Sin duda el mejor modelo de la estructura de los átomos propuesto en este tiempo es el de Niels Bohr. Este físico danés nació en 1886 y estudió en Cambridge bajo la dirección de J. J. Thomson y de Rutherford. Es en el laboratorio de este último que Bohr empezó a trabajar sobre la estructura del átomo, utilizando como punto de partida la

teoría cuántica de Planck, que también debía demostrarse muy provechosa en las manos de Debye, de Einstein, de Nernst y otros.

Del modelo de Rutherford-Thomson, Bohr conservó la idea esencial de los electrones exteriores al núcleo y gravitando alrededor de éste. Pero introdujo otras leyes de gravitación, como las leyes de gravitación de un planeta alrededor del sol (leyes de Kepler y de Newton). En el modelo de Bohr –en el átomo de Bohr, como se le llama muchas veces– se supone, en primer lugar, que alrededor del núcleo, considerado como centro, los electrones describen órbitas circulares. Estos electrones son sometidos, por una parte, a la fuerza centrífuga, y, por otra, a una fuerza de atracción eléctrica por el núcleo (fuerza de Coulomb). Algunas de estas órbitas, porque se admite su multiplicidad, son *estables* en el sentido de que, al recorrerlas los electrones, no absorben ni emiten energía, hecho que entra en contradicción con las leyes de la electrodinámica clásica. El número de estas órbitas estables (llamadas también *niveles de energía*) es determinado por condiciones cuánticas. Si se acepta entonces que un electrón puede cambiar de órbita, *saltar* de una órbita a otra, cierta variación de energía estará asociada con este salto, y la frecuencia espectral correspondiente a esta variación será determinada por la condición cuántica de Planck.

De esta manera, el modelo de Bohr proporcionaba una explicación llena de imágenes (uno de estos modelos mecánicos que le gustaba tanto a su maestro Rutherford) del espectro de hidrógeno. Fue adoptado de inmediato.

Había sido nombrado Bohr catedrático de la Universidad de Copenhague en 1916; en 1921, director del Instituto de Física Teórica de la misma ciudad; y en 1922 un Premio Nóbel consagraba la amplitud de sus trabajos. Durante la segunda guerra mundial, perseguido por los nazis, se refugió en los Estados Unidos, donde colaboró en los trabajos del

laboratorio de Los Alamos. En 1945 regresó a Dinamarca y se reintegró a su cargo en el Instituto de Física Teórica de Copenhague. Hasta su muerte, ocurrida el 19 de noviembre de 1962, prosiguió sus trabajos sobre la mecánica ondulatoria y la cuántica.

Sin embargo, el modelo de Bohr contenía cierto número de inexactitudes. Una primera corrección será aportada en 1915 por el británico Sommerfeld; ciertas características del espectro del hidrógeno (estructura fina) no podían ser explicadas por medio de órbitas circulares. Sommerfeld demostró que la introducción de órbitas elípticas (las órbitas circulares de Bohr son solamente un caso particular de ellas ya que un círculo puede ser considerado como una elipse cuyos dos medios ejes son iguales) permitió dar cuenta más completa de los datos experimentales. Pero claro que quedaban todavía otras modificaciones que habría que añadir más tarde.

Sobre el plano teórico las contribuciones de Albert Einstein se revelaron sumamente importantes. Había nacido en Suabia el 14 de marzo de 1897, pero estudió física en Zurich. Enseñó sucesivamente esta rama de la ciencia en Suiza, en Checoslovaquia y en Alemania. Sus trabajos de física teórica le merecieron un Premio Nóbel en 1921. La expansión del nazismo lo obligó dejar Europa, y en 1933 radicó en Princeton, Nueva Jersey. Murió el 18 de abril de 1955.

En 1905 Einstein había sugerido que la luz, no sólo es emitida o absorbida granularmente, sino que también se propaga en forma cuántica. La existencia de estos granos de luz o factores y el valor de la teoría de Einstein serán demostrados en 1916 por Millikan.

Pero el gran descubrimiento experimental, que por supuesto va a generar profundas repercusiones teóricas, es el de Compton. Arthur Holly Compton nació en Ohio el 10 de septiembre de 1892. Estudió en la Universidad de Princeton y después se dedicó a la investigación científica, en especial a la física

de los rayos X. Compartió el Premio Nóbel de Física con Wilson en 1927. Falleció el 16 de marzo de 1962 en Berkeley, California. El afamado *efecto Compton* fue descubierto en 1923. En dicho año el físico norteamericano dirigió un haz de rayos X monocromáticos (es decir de una sola frecuencia) sobre carbono; se encontró que la frecuencia del haz reflejado era menor que la frecuencia del haz incidente. Esto significaba, de acuerdo con la teoría cuántica, energía que se había perdido –dado que la cantidad elemental de energía es proporcional a la frecuencia–. Se había producido un choque entre los fotones incidentes (el haz de rayos X) y los electrones (del carbono).

Esto se pudo comprobar directamente. En 1919 el físico escocés Wilson había descubierto un método sumamente original para fotografiar la trayectoria de las partículas ionizantes. Su aparato, ahora llamado *cámara de Wilson,* consiste en una caja llena de aire saturado con vapor de agua. Cuando una partícula atraviesa tal dispositivo ioniza cierto número de moléculas; entonces el equilibrio está destruido y las moléculas ionizadas se comportan como centro de condensación para el vapor de agua. Resulta que el camino seguido por la partícula queda materializado bajo la forma de una sucesión de pequeñas zonas de niebla, que se pueden fotografiar si la cámara es alumbrada por una luz intensa luego que la partícula ionizante la ha atravesado.

Con este aparato, Wilson demostró que con certeza los electrones eran liberados, arrancados seguidamente del choque de fotones con la materia. Estos resultados experimentales justificaban, de manera admirable, la teoría del fotón en particular, e iban a permitir la edificación de la mecánica ondulatoria.

Durante el otoño de 1923 Louis de Broglie publica la nota que se puede considerar como el origen formal de la mecánica ondulatoria. Esta original concepción emplea la noción de *quantum* de energía y la fórmula de Einstein que

permite calcular la energía equivalente a una masa en reposo. Esta ecuación –una de las más célebres– traduce un concepto unitario del universo; a la oposición clásica masa-energía se sustituye ahora una sola entidad. La ley de conservación fundamental no es ahora una ley de la conservación de la masa, como lo había afirmado Lavoisier, sino una ley de la conservación de la energía.

Al aceptar las dos relaciones de Planck y de Einstein, de Broglie dedujo que se podía asociar a todo electrón una onda representando matemáticamente las propiedades de dicho electrón. Esta onda, llamada frecuentemente *onda piloto*, no tiene todavía ningún carácter físico: se considera únicamente como un artificio matemático adecuado para describir ciertas particularidades físicas.

Será todavía más obvio este aspecto en la teoría de Schrödinger. Erwin Schrödinger nació en Viena en 1887; empezó su carrera académica en esta misma ciudad, continuándola después en Alemania y en Suiza. Sus trabajos de física teórica le valdrán un Premio Nóbel en 1933. En 1927 se había instalado en Alemania pero, debido a su oposición al nazismo, marchó a Inglaterra, a Oxford, en 1933. La nostalgia de su país lo hizo regresar a Austria, y, cuando Hitler invadió esta nación, Schrödinger tuvo que *pedir perdón.* Logró escapar a Italia y de allí a Nueva Jersey. Después de una breve temporada en la Universidad de Princeton, radicó en Dublín, Irlanda, donde fue director del Instituto de Estudios Avanzados hasta 1955, cuando regresó a Austria, donde murió el 4 de enero de 1961.

En 1926 Schrödinger toma de nuevo los conceptos ondulatorios de de Broglie y los generaliza. Esencialmente abandona la noción de las órbitas electrónicas de Bohr y de Sommerfeld debido a que carecen de carácter experimental en el sentido estricto de la palabra. Y llega a ecuaciones en que los electrones quedan representados en forma de ondas.

Sin embargo, la significación profunda de la mecánica

ondulatoria y de las concepciones cuánticas debía ser proporcionada por los trabajos de la escuela de física teórica de Gotinga. Allí, Heinsenberg, Born y Jordan pusieron a punto una descripción puramente matemática (la mecánica matricial) que proporciona los mismos resultados que la ecuación de Schrödinger. Pero fue posible deducir de su teoría cierto número de interpretaciones nuevas.

La onda de Schrödinger-de Broglie podía ser considerada, según Born, como una onda de probabilidad. En la nueva mecánica son posibles las contradicciones: el electrón no es ahora, como en el modelo de Bohr, una pequeña partícula que se puede describir y localizar, sino al contrario, la probabilidad de que hay un electrón. También Heinsenberg dedujo su famosa relación, llamada injustamente *principio de incertidumbre*; injustamente porque no es un principio, es decir una relación escrita *a priori,* sino al contrario, un teorema matemático deducido siguiendo las reglas de una lógica sumamente rigurosa. Demuestra, por ejemplo, que no se puede, y que nunca se podrá, conocer al mismo tiempo la velocidad y la ubicación de una partícula elemental. En realidad la relación de Heinsenberg significa que existe una precisión maximal que nunca puede ser sobrepasada.

Sería un error grave menospreciar la importancia de estos resultados. Todo el edificio del pensamiento científico clásico estaba basado sobre una concepción determinista del mundo: si en un instante dado fuera posible conocer todas las características de un sistema material –el mundo incluido–, entonces sería posible calcular la situación, el estado de este sistema en un instante ulterior. Dentro del marco de la nueva teoría cuántica, por el contrario, nunca se podrán conocer con precisión infinita todas las características de un sistema material; aún menos posible determinar, mediante el cálculo, con precisión teóricamente infinita, el estado ulterior de este sistema. Todo lo accesible al experimento y a la teoría solamente es una serie de probabilidades.

En una conferencia impartida el 25 de abril de 1953, en la Sociedad Francesa de Filosofía, Louis de Broglie resumía así la situación:

> La interpretación de Bohr y de Heinsenberg no sólo reduce toda la física a la probabilidad sino que atribuye a esta noción una significación que es nueva en la ciencia. Mientras que todos los grandes maestros de la época clásica, desde Laplace hasta Henri Poincaré, siempre han proclamado que los fenómenos naturales estaban determinados y que la probabilidad, cuando se introduce en las teorías científicas, resultaba de nuestra ignorancia o de nuestra incapacidad para seguir un determinismo demasiado complicado, en la interpretación actualmente aceptada de la física cuántica tenemos que ver con la *probabilidad pura*, la que no resultaría de un determinismo escondido.

Otro aspecto del asunto es la aparición de la *complementaridad*, que, por cierto, habría que erigir en principio. Todo pasa como si las partículas elementales se presentaran a veces con un aspecto granular y a veces ondulatorio. Hay aquí un tipo de acrobacia intelectual bastante turbador; por ejemplo, el *efecto Compton* se interpreta fácilmente dentro del marco de una formulación granular, pero el experimento que Davisson y Germer realizaron en 1927, la difracción de un haz de electrones en los planos reticulares de un cristal de níquel, se interpreta con mayor facilidad dentro del marco de una formulación ondulatoria.

El problema del determinismo y del probabilismo, aun para la escuela cuántica, quedó todavía abierto. Si la mayoría de los físicos se han adherido a la interpretación probabilística de Heinsenberg y de Born, algunos otros –y no de los mediocres– se han negado siempre a aceptarla como ineluctable. Einstein, en especial, luchó fogosamente hasta su fallecimiento por intentar construir una explicación determinista de los fenómenos a la escala microscópica y, hasta la fecha, cierto número de jóvenes investigadores siguen trabajando en esta dirección. Sin embargo, hasta el día de hoy, no ha sido posible edificar un sistema satisfactorio de estricta causalidad.

El estudio del núcleo proseguía conjuntamente. Se recuerda que los rayos beta habían sido identificados como electrones y los alfa como helio bajo una forma especial. La naturaleza exacta de ellos será dilucidada por Francis William Aston. Aston nació el 1°. de septiembre de 1877 e hizo sus estudios en Cambridge y Birmingham. Es en esta última ciudad que empezó su carrera, antes de volver a Cambridge como *Fellow of the Trinity College.* Es muy conocido Aston por su invención del espectrógrafo de masa, que en un sentido deriva del aparato de Thomson. El aparato de Aston, que permite medir con una precisión de 1/10 000 el valor de la relación e/m (e = carga; m = masa), va a proporcionar datos de los cuales se puede calcular la relación entre la masa de las partículas. El espectrógrafo de masa se volvió operacional por 1919, realizándose muchísimas mediciones, tantas que, en 1933, solamente 18 elementos no habían sido investigados. Y fueron muy provechosos los resultados. En particular se había demostrado que los rayos alfa son núcleos de helio, de donde viene el nombre de heliones que a veces se les da. Ahora, si se atribuye al oxígeno la masa 16, la masa del núcleo de helio es de 4,0029 y la del núcleo de hidrógeno (o protón) de 1,0076; no son números enteros. Medidas espectrales de alta precisión hicieron sospechar la existencia de un isótopo del hidrógeno de aproximadamente masa 2. En 1932 Urey iba a aislar este hidrógeno pesado, también llamado deuterio, cuyo núcleo –o deuterón– será posteriormente uno de los proyectiles empleados para dilacerar los átomos. Y en 1919 Rutherford observa la primera transmutación, primer episodio de una búsqueda que llevará al horror de las bombas atómicas y termonucleares pero asimismo a unas aplicaciones pacíficas. El aparato empleado por Rutherford era de una sencillez genial: un tubo, cerrado por medio de una placa delgada de metal; dentro del tubo, una aguja en cuya punta era depositada una pequeña cantidad de determinada sal de radio. Se observa la placa con un espintariscopio de Crookes, también instrumento sencillo pero que mostró ser muy eficaz en las manos de científicos de genio. El principio del

espintariscopio es bien fácil: cuando partículas alfa chocan contra una pantalla de sulfuro de cinc, en el punto de impacto aparece una fluorescencia. Al observarse la pantalla con una lupa potente se puede contar el número de puntos luminosos que aparecen durante un tiempo dado, o sea el número de partículas alfa que han sufrido una colisión con la pantalla. La longitud del tubo del aparato de Rutherford era tal que las partículas alfa emitidas por el radio no alcanzaban el espintariscopio, que, por lo tanto, quedaba oscuro. Pero cuando se llenaba el tubo de nitrógeno era posible observar puntos brillantes sobre la pantalla. Es obvio que las partículas así detectadas solamente podían provenir del nitrógeno; pero este último no es radiactivo en estado natural. Entonces la sola explicación posible es que se trataba de partículas provenientes del núcleo del átomo de nitrógeno bajo la influencia de los rayos alfa emitidos por el radio. En otras palabras, por primera vez en la historia del mundo, un físico había observado una desintegración nuclear.

Quedaba mucho trabajo por hacer. En primer lugar, Rutherford demostró —con la colaboración de Chadwick— que las partículas emitidas bajo la influencia de los rayos alfa no eran otras partículas alfa sino protones, y que éstos existen solamente en el núcleo. Por lo tanto, era un fenómeno nuclear. Si fuera una desintegración, la partícula alfa tenía que penetrar dentro del núcleo, un protón ser arrojado fuera y el núcleo mismo debía alejarse un poco, en virtud de las leyes de la mecánica clásica. Sólo mucho más tarde, en 1925, todo esto podrá ser comprobado.

Quedaba mucho trabajo por hacer... Al examinar aproximadamente 20 mil fotografías conseguidas con una cámara de Wilson mejorada, el físico inglés Blackett encontrará 8 en las cuales se podía ver la desaparición de una partícula y la expulsión de un protón. Enseguida se demostrará que el átomo de nitrógeno así *tocado* se transforma en un átomo de oxígeno. Por primera vez la existencia de una transmutación era comprobada.

Epílogo

Se habla mucho actualmente de "la realización del antiguo sueño de los alquimistas"; sería más correcto hablar de la contribución de los alquimistas. Así, Al Jabir prepara el camino para Rutherford.

¿Es sorprendente descubrir que los progresos notables que se obtuvieron han sido posibles gracias al abandono progresivo de los antiguos postulados: la indivisibilidad, la causalidad estricta?

Pero este estallido del universo del hombre es la primera señal de una objetividad aún mayor.

La historia del átomo es una suma de innumerables esfuerzos de hombres que, a través de la historia, han contribuido al desarrollo de la ciencia con su trabajo cotidiano y en una lucha colectiva. La ilustración representa un molino para extracción de metales preciosos por amalgamación; pertenece al libro de Biringuccio, *De la pirotheenia*, publicado por primera vez en 1540. (LER.)

Indice onomástico

Agemortos, 32
Alberto Magno, 53, 54
Alejandro Magno, 27, 30
Alfonso VI, 49
Al Jabir (véase Jabir)
Ambrosio, 46
Aminomaques, 32
Anaxágoras, 19, 33, 34
Anaximandro, 15, 16, 17
Anaxímenes, 15, 16, 17
Aristóteles, 27, 35, 44, 46, 53, 54, 55, 64
Aristóxenes, 16
Arrhenius, 124
Aston, 138, 151
Atenócrites, 21
Avicena (véase Ibn-Sina)
Avogadro, 104, 106

Bacon, Francis, 71, 82
Bacon, Roger, 51, 53, 54, 55
Bauer, 109
Becquerel, 124, 125, 130, 131, 134, 135
Becher, 77, 85, 86, 88
Beda el Venerable, 47
Bémond, 131
Berthollet, 97
Berzelius, 102, 106
Biringuccio, 65
Black, 91
Blackett, 152
Bohr, 144, 145, 146, 148, 149, 150
Boisbaudran, de, 118
Born, 149, 150
Boyle, 73, 75, 76, 77, 82, 85, 88, 110
Bragg, 141
Broglie, de, 82, 147, 148, 149, 150
Bruselas, de, 58
Carlomagno, 46
Carlos el Calvo, 47
Carlos Martel, 43
Catarina, 62
Cavendish, 91, 92, 95
Cayo Memmio, 33
Cicerón, 33, 34
Clausius, 110, 120
Clemente IV, 54
Colbert, 88
Colonna, 54, 64
Compton, 146, 147, 150
Copérnico, 64
Coulomb, 145
Crombie, 82
Crookes, 122, 123, 124, 135, 151
Curie, Jacques, 130
Curie, Marie, 125, 130, 131, 135
Curie, Pierre, 125, 130, 131, 135, 136
Cusa, de, 58, 60, 73

Chadwick, 152

Dalton, 100, 102, 104, 106, 138
Dampier, 43
Dante, 57

Davisson, 150
Davy, 102, 109
Debierne, 131
Debye, 145
Demasipe, 21
Demetrio de Potama, 32
Demetrio Poliorcetes, 30
Demócrito, 37
Demócrito de Abdera, 21, 22, 30, 33
Descartes, 80, 81, 82, 83, 141
Diderot, 85
Duhem, 44, 53
Dulong, 106
Dumas, 106, 113

Einstein, 75, 145, 146, 147, 148, 150
Empédocles, 20, 21, 33, 34
Enrique de Portugal, 58
Epicuro, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 81
Erasmo, 60

Faraday, 107, 109, 120
Felipe el Hermoso, 54
Filipo, 27
Filócrates de Bates, 32
Fleming, 125
Fontenelle, 88
Fouquier-Tinville, 96
Francisco I, 62
Frankland, 114
Franklin, 15, 92
Freind, 85
Fresnel, 111, 141
Frobenius, 60

Galileo, 64, 65, 82
Gassendi, 81
Gay-Lussac, 104, 106
Germer, 150
Gilbert, 68, 69
Glauber, 77
Goldstein, 122, 123
Grosse-Teste, 51, 54, 55

Harun-al-Raschid, 38
Hegesistrato, 21
Heinsenberg, 149, 150
Helmholtz, 121
Helmont, van, 60, 73, 75, 91
Hennon, 58
Heráclito, 17, 19, 34
Hermakos, 32
Hertz, 124
Hipócrates, 22
Hitler, 148
Hittorf, 120, 122
Hoff, van't, 124
Hohenheim, von (véase Paracelso)
Homberg, 88
Hooke, 87
Huyghens, 110

Ibn-al-Haitham, 43
Ibn-Sina, 43, 44, 60
Isabel I, 68
Isidoro de Sevilla, 47

Jabir, 38, 42, 43, 49, 51, 96, 153
Jámblico, 16
Jordan, 149

Kaufmann, 126, 127
Kepler, 145
Kleve, 120
Koninck, de, 113

Laborde, 136
Langmuir, 142
Laplace, 97, 150
Lavoisier, 43, 91, 92, 95, 96, 97, 99, 148
Leibnitz, 55
Lémery, 81
Lenard, 139, 140
Leonteus, 30
Leucipo, 21
Lewis, 142
Liebig, 114
Lorentz, 127
Lucrecio, 31, 33, 34, 35
Luis IX de Francia, 51
Luis el Bondadoso, 47
Lull, 51, 53, 55

Macquer, 89, 91
Mariotte, 75, 82
Melita, 30
Mendeleev, 117, 118, 120, 131, 142
Metrodoro, 30, 31
Miguel el Tartamudo, 47
Millikan, 126, 146
Mitscherlich, 106
Moisés, 48
Morveau, de, 97
Moseley, 141, 142

Napoleón, 111
Nausifane, 30
Neocles, 30
Nernst, 145
Newton, 81, 82, 110, 111, 141, 145
Nilson, 120

Orbelis, de, 58
Orígenes, 46

Paracelso, 60, 61, 77
Parménides, 19
Pascal, 58
Pasteur, 125
Pausanias, 21
Pérdicas, 30
Perrin, 126
Petit, 106
Pitágoras, 16, 17, 27
Planck, 144, 145, 148
Platón, 19, 27, 30
Plinio el Viejo, 47
Poincaré, 150
Polícrates, 16
Polignac, cardenal de, 34
Porta, 68
Pott, 88
Priestley, 91, 92, 93, 95, 96, 99
Protágoras, 22
Proust, 99
Prout, 113, 114, 138
Ptolomeo, 64

Regiomontanus, 65
Richter, 99
Roemer, 81
Roentgen, 124
Roma, de (véase Colonna)

Rouelle, 87, 95
Rutherford, Daniel, 95
Rutherford, Ernest, 124, 131, 134, 135, 136, 140, 142, 144, 145, 151, 152, 153

Sala, 78, 80
San Agustín, 48
San Jerónimo, 33, 34
Sarton, 35
Scotus, 47, 48, 60
Schrödinger, 82, 148, 149
Scheele, 95
Sennert, 73
Simeón, 44
Sklodowska (véase Curie, Marie)
Snow, 13
Sócrates, 19, 22, 27
Soddy, 135, 136, 138
Sommerfeld, 146, 148
Stahl, 85, 86, 87, 96
Stas, 113
Stoney, 121
Suetonio, 33
Sully-Prudhomme, 34

Tachenius, 80
Tales, 15, 16
Tataret, 58
Thomson, 124, 125, 126, 136, 138, 140, 144, 145, 151
Timócrates, 32
Tito, 44
Torricelli, 81

Urey, 151

Varley, 124
Vauquelin, 97
Verrochio, 62
Villeneuve, de, 51
Vinci, Leonardo da, 62, 63, 64
Vinci, Pietro da, 62
Virgilio, 34

Watt, 92
Wiechert, 126
Wilson, 147
Williams, 110
Winkler, 120
Wöhler, 114

Young, 111

Zeeman, 127
Zenón, 19

Indice

Advertencia	9
Introducción	11
Los precursores	15
La gran época de la alquimia	37
La Edad Media	49
El Renacimiento	57
La edad de la razón	71
El gran cambio	85
Atomos y moléculas	99
Atomos y partículas	113
Primer modelo del átomo	129
El alba de la física nuclear	141
Epílogo	153
Indice onomástico	155

La edición fue cuidada
y diseñada por *Miguel Angel Guzmán*

Portada: diseño de *Miguel Angel Guzmán*

Imprenta Madero, S. A.
24-IX-1975
Avena, 102; México 13, D. F.
Edición de 30 mil ejemplares

A lo largo de centurias, numerosos investigadores han sumado sus esfuerzos por llegar a las últimas fronteras de la realidad y desentrañar los secretos del átomo. Claude Marmasse examina la evolución de la teoría atómica, desde el tiempo de los filósofos jonios y los días de Demócrito de Abdera -quien primero sistematizó una concepción atomista- hasta el tercio inicial del siglo XX, cuando florecieron los Curie, Einstein, Rutherford ... Por encima de las abstracciones, interesan al autor los factores humanos, los acontecimientos que influyeron la vida y el trabajo de esos personajes que edificaron la paciente historia del átomo.

$ 10.00

Claude Marmasse/La paciente historia del átomo

214